

УДК 629.391

МЕТОД КОМПРЕСІЇ ТРАНСФОРМОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ НА ОСНОВІ КОДУВАННЯ ВЕКТОРІВ КОРТЕЖІВ

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф., **С. В. Туренко**

Харківський університет Повітряних Сил

Barannik_V_V@mail.ru

Обґрунтовано необхідність розвитку технологій компресії трансформованих зображень у напрямку, що базується на формуванні двокомпонентного кортежу лінеаризованої трансформанти у компонентному представленні. Проведено оцінку інформативності усіченого вектора двокомпонентних кортежів у разі виявлення структурних обмежень на динамічний діапазон. Викладено обґрунтування інтерпретації усіченого вектору двокомпонентних кортежів у вигляді укрупненого позиційного числа невизначеної довжини, елементами якого є коди двоелементних біадичних чисел, утворених для окремих двокомпонентних кортежів. Викладено розробку кодообразуючого співвідношення, що забезпечує формування коду для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною за дворівневою схемою, а саме — на першому рівні формується кодове представлення для окремих двокомпонентних кортежів, а на другому — здійснюється формування загального кодового представлення для кодів, отриманих на першому рівні.

Ключові слова: вектор двохкомпонентних кортежів; укрупнене позиційне число.

Need of development of technologies of a compression of the transformed images for the direction, based on formation of a two-component tuple of a linear transform in component representation is justified. The assessment of informativeness of a sectional vector of two-component tuples in case of detection of structural constraints on dynamic range is carried out. Reasons for interpretation of a sectional vector of two-component tuples in the form of the enlarged positional number of the indefinite length which elements are codes two-element the biadicheskikh of the numbers formed for separate two-component tuples are explained. Development of the kodoobrazuyushchy ratio providing formation of a code for enlarged positional number with an indefinite length on the two-level diagram is explained, namely at the first level code representation for separate two-component tuples is created, and at the second level formation of the general code idea for the codes received at the first level is carried out.

Keywords: vector of the two-component tuples; the enlarged positional number.

Вступ

Надання відеоінформаційних послуг з використанням бездротових інфокомунікаційних технологій (ІТ) має ряд критичних сторін. Критичність надання таких послуг пов'язана з проблематичністю щодо забезпечення заданих характеристик по затримці на вузлі доступу, затримці від джерела до одержувача; імовірності втрати пакетів на вузлі доступу [1; 2].

Ключовою складовою вирішення виникаючих труднощів є технології компресії відеокадрів. Стиснення відеоданих дозволяє скоротити час передачі даних у мережі, зменшити інтенсивність надходження пакетів в мережу. В основі найбільш часто використовуваних на практиці кодеків для обробки рухомих і статичних відеокадрів знаходиться технологія стиснення на базі JPEG платформи [2–4].

У той же час потенційних характеристик технології JPEG в тому її компонентному складі, яке існує на цей час, вже недостатньо для забезпечення збільшених вимог щодо надання відеоінформаційних сервісів. У зв'язку з чим, необхідно обґрунтувати і розробити технологію кодування в напрямку вдосконалення JPEG платформи.

Розглянемо базову композицію JPEG технології. Тут використовується стратегія компонентного кодування квантизованої трансформанти, яка будується з урахуванням таких властивостей як: концентрація основної енергії вихідного сигналу в обмеженій кількості низькочастотних компонент трансформанти; виділення області високочастотних компонент; поява компонент трансформанти з нульовими значеннями. Такі властивості зумовили розвиток базових стратегій кодування компонентного представлення трансформанти. Тут здійснюється виділення довжин ланцюжків, що складаються з компонент трансформанти, мають після квантизації нульові значення.

У результаті формуються двокомпонентні кортежі. Тому пропонується проводити подальший розвиток теоретичних підходів і побудову технологій обробки трансформованих зображень у напрямку кодування векторів двокомпонентних кортежів (ДК).

Звідси обґрунтування і створення технології компресії трансформованих зображень на базі кодування векторів двокомпонентних кортежів і визначає *мету дослідження статті*

Аналіз підходів для кодування векторів двокомпонентних кортежів

Розглянемо обробку двокомпонентних кортежів. Між компонентами кортежів існує взаємозв'язок. По-перше, це обумовлено позиціями значущих компонент у трансформанті. По-друге, для значущих компонент у зв'язку з процесами трансформування та квантизації буде характерний нерівномірний закон розподілу значень. Такі властивості визначають обробку двокомпонентних кортежів. Тут технології кодування поділяються на два підходи [3–7]:

1. Для першого підходу організовується динамічне статичне кодування, де використовується контекстне моделювання. Але в той же час потрібні додаткові бітові витрати для подання службової складової, що містить інформацію про можливість розподілу компонент. Крім того, недолік такого підходу полягає в збільшенні тимчасових затримок на обробку, пов'язаних з перерахунком вірогідності появи компонент.

2. Другий підхід пов'язаний із статистичним кодуванням з фіксованими таблицями. Але з іншого боку знижується адаптованість статистичної моделі до мінливих характеристик трансформант. Це призводить до збільшення довжини коду інформаційної складової кодової конструкції.

Звідси випливає, що технологія статистичного кодування компонентного подання трансформанти може забезпечити зниження бітової швидкості за рахунок втрати інформації в зображеннях та підвищення часу їх обробки. Одним з ефективних підходів для розвитку технологій кодування трансформант у компонентному описі є напрям, заснований на усуненні структурно — комбінаторної надмірності [4; 5]. Тут у першу чергу необхідно обґрунтувати та оцінити потенційні характеристики структурно-комбінаторних закономірностей, які допустимо виявити для вектора двокомпонентних кортежів лінеаризованої трансформанти.

Обґрунтування підходу для скорочення надмірності у векторах двокомпонентних кортежів

У результаті виявлення ланцюжків нульових компонент, що передують значущим компонентам, отримаємо опис лінеаризованої трансформанти $Y^{(1)} = \{\ell_1; c_1, \dots, \ell_{n_{\text{крт}}}; c_{n_{\text{крт}}}\}$. Це дозволяє скоротити кількість повторюваних коефіцієнтів трансформанти ДКП. Під вектором двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)}$ лінеаризованої трансформанти $Y^{(1)}$ розуміється послідовність пар $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$ структурного опису, складова із значущої ком-

поненти c_α трансформанти та передуючої їй довжини ℓ_α ланцюга компонент з нульовими значеннями.

Розглянемо опис вектору P двокомпонентних кортежів. Розмірність такого масиву становить $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$. З позиції виявлення обмежень найбільшу цікавість представляє не весь вектор ДК, а тільки та його частина P' , яка не містить перший та другий кортежі, тобто $P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\}$. Такий вектор кортежів називається *усіченим*.

Усічена лінеаризована трансформанта, структурно описана у вигляді двокомпонентного кортежу, є двовимірним комбінаторним об'єктом розмірністю $(2 \times (n_{\text{крт}} - 2))$, рядками якого є перестановки з повтореннями по $(n_{\text{крт}} - 2)$ елементів, для яких виконуються наступні обмеження:

– перша компонента кортежу має обмеження на динамічний діапазон, що дорівнює $\lambda(\ell) \leq n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1$;

– динамічний діапазон другої компоненти кортежу обмежений зверху величиною, що дорівнює $\lambda(c) < c_1$.

Для оцінки інформативності такого подання трансформанти потрібно визначити кількість усічених векторів ДК, для компонент якого виконуються обмеження, що задаються формулами:

$$\ell_\alpha \leq \begin{cases} \lambda(\ell) = 1, & \rightarrow \alpha = 1; \\ \lambda(\ell) \leq n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1, & \rightarrow 2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}} - 1; \\ \lambda(\ell) = \max_{1 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}} \{\ell_\alpha\}, & \rightarrow \alpha = n_{\text{крт}}. \end{cases} \quad (1)$$

$$1 \leq c_\alpha \leq \lambda(c) < c_{\text{max}}, \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (2)$$

Кількість $W(P')$ усічених векторів двокомпонентних кортежів, для компонент якого виконуються обмеження (1) і (2), визначається за формулою [5]

$$W(P') = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - 2}. \quad (3)$$

Відповідно кількість усічених векторів ДК не перевищуватиме величини заданої наступним виразом:

$$W(P') < ((n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1) \cdot c_1)^{n_{\text{крт}} - 2}. \quad (4)$$

Для відомої кількості допустимих усічених векторів ДК інформативність $V(P')$ лінеаризованої трансформанти визначається за формулою: $V(P') = (n_{\text{крт}} - 2) \log_2 (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))$. При цьому в силу властивості (4), кількість двійкових розрядів на представлення усіченої ЛТ буде обмежено зверху наступною величиною:

$$V(P') < (n_{\text{крт}} - 2) \log_2 ((n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1) c_1). \quad (5)$$

Середня кількість $\bar{V}(P')$ інформації, що припадає на один двокомпонентний кортеж, оцінюється як, $\bar{V}(P') = \log_2 (\lambda(\ell)\lambda(c))$.

Відповідно кількість $S(P')$ надлишковості в усіченій ЛТ як різниця інформативності до та після її опису у вигляді усіченого вектору P' двокомпонентних кортежів, буде дорівнювати

$$S(P') = (n_{\text{крт}} - 2) \log_2 (\ell_{\text{max}} c_{\text{max}}) - (n_{\text{крт}} - 2) \log_2 (\lambda(\ell)\lambda(c)).$$

Причому $S(P') > 0$, оскільки за умовою формування усічених векторів ДК виконуються умови $\lambda(\ell) < \ell_{\text{max}}$ і $\lambda(c) < c_{\text{max}}$.

З урахуванням співвідношення (5), отримаємо наступну нижню оцінку середньої кількості

$\bar{S}(Y^{(1)} / P')$ надлишковості, яка міститься у послідовності компонент ЛТ у випадку його вихідного представлення відносно представлення у вигляді двокомпонентного кортежу з виявленими обмеженнями на динамічний діапазон, оцінюється за допомогою наступного виразу:

$$\bar{S}(Y^{(1)} / P') = \left(1 - \frac{(n_{\text{крт}} - 2) \log_2 (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))}{(n^2 - \ell_{n_{\text{крт}}} - 1) \log_2 c_{\text{max}}} \right) \cdot 100\%,$$

де $\log_2 c_{\text{max}}$ — кількість розрядів на представлення компоненти ЛТ до формування кортежів.

Оцінка кількості $\bar{S}(Y^{(1)} / P')$ надлишковості, яка у середньому припадає на один двокомпонентний кортеж залежно від ступеня насиченості вихідного сегменту зображення, представлена у вигляді діаграм на рис. 1.

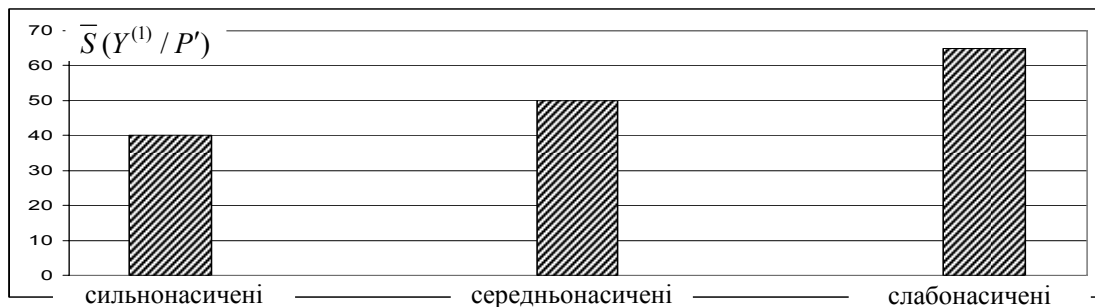


Рис. 1. Діаграма залежності величини $\bar{S}(Y^{(1)} / P')$ від ступеня насиченості сегменту зображення

Як впливає з аналізу діаграм на рис. 1 кількість надлишковості, яка зменшується, змінюється у середньому від 40 до 60 % залежно від ступеня насиченості сегменту зображення.

Збільшення кількості потенційної надлишковості, яка скорочується, відповідає випадку обробки слабо насичених зображень. Це досягається в результаті скорочення кількості кортежів.

Розробка технології компресії вектору двокомпонентних кортежів

Двокомпонентний кортеж $\Theta_{\alpha}^{(2)}$ відповідно до комбінаторної інтерпретації є перестановкою з повтореннями, на елементи якої накладено обмеження на динамічний діапазон, рівні $\lambda(\ell)$ і $\lambda(c)$. У той же час такі послідовності є двоосновними позиційними числами або біадичними числами.

Визначення 1. Двокомпонентний кортеж називається двоелементним біадичним числом.

Як старший елемент $\theta_{1,\alpha}$ розглядається перша компонента кортежу, а саме довжина ℓ_{α} ланцюгів нульових компонент.

Відповідно молодшим елементом $\theta_{2,\alpha}$ є друга компонента кортежу, тобто значуща компонента c_{α} лінеаризованої трансформанти.

Для кожного кортежу $\Theta_{\alpha}^{(2)}$ як двоелементного біадичного числа можна сформувати кодове значення $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$. Причому відповідно до властивості двоосновних позиційних чисел значення коду $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ буде обмежено зверху величиною, яка дорівнює добутку основ $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$, тобто

$$E(\tilde{\Theta}_{\alpha}^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c).$$

При цьому, оскільки величини $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ є фіксованими у межах вектора ДК, що обробляється, то таке обмеження буде відповідати для всіх кодів, отриманих для двокомпонентних кортежів поточної лінеаризованої трансформанти. Це задається таким виразом:

$$E(\Theta_{\alpha}^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \quad \text{для } \alpha = 2, n_{\text{крт}} - 1. \quad (6)$$

Отже, формується послідовність A , $A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$, яка складена з вели-

чин $E(\Theta_\alpha^{(2)})$, для яких виконується обмеження (6). Послідовність A з такими властивостями є позиційним числом з основою $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$. Оскільки елементи $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ в свою чергу є кодами біадичних чисел $\Theta_\alpha^{(2)}$, то складені з них позиційні числа A будемо називати *укрупненими позиційними числами*.

У той же час, відповідно до четвертої властивості, довжина укрупненого позиційного числа заздалегідь не відома, тобто $n_{\text{крт}} = \text{var}$. У зв'язку з цим, сформулюємо таке визначення.

Визначення 2. Позиційне число, кількість елементів якого заздалегідь невідомо, а самі елементи в свою чергу є кодами $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ двоелементних біадичних чисел $\Theta_\alpha^{(2)}$, і задовольняють обмеженню (6) називаються *укрупненим позиційним числом* (УПЧ) з невизначеною довжиною (НД).

Для отримання коду, який відповідає укрупненому невизначеній довжині позиційному числу, складеного з двокомпонентних кортежів сформулюємо та доведемо таку теорему.

Теорема значення коду $E(P')$ для усіченого вектору P' двокомпонентних кортежів на підставі співвідношення

$$E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) \cdot (\lambda(\ell) \lambda(c))^{n_{\text{крт}}-\alpha}. \quad (7)$$

Доведення. Двокомпонентний кортеж $\Theta_\alpha^{(2)}$ є двоелементним біадичним числом з основами, що дорівнюють $\lambda(\ell)$ і $\lambda(c)$. Старшим елементом є перша компонента $\theta_{1,\alpha}$ кортежу, а молодшим елементом є друга компонента $\theta_{2,\alpha}$ кортежу. Тоді значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ для двоелементного біадичного числа $\Theta_\alpha^{(2)}$ буде визначатися за формулою

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) = (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha). \quad (8)$$

Згідно визначення 2 сформована на підставі значень кодів $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ послідовність A , тобто

$$A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$$

є укрупненим позиційним числом з основою, що дорівнює $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Тоді кількість $W(A^{(\alpha)})$ укрупнених позиційних чисел, що відповідає послідовності $A^{(\alpha)}$, яка складена з кодів $E(\Theta_\gamma^{(2)})$ молодших стосовно α -го коду, буде визначатися як накопичений добуток основ молодших елементів УПЧ, тобто

$$W(A^{(\alpha)}) = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}}-\alpha}.$$

З урахуванням чого значення коду $E(A)$ буде вираховуватися за наступною формулою:

$$E(A) = E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} E(\Theta_\alpha^{(2)}) W(A^{(\alpha)}).$$

Розписав в отриманому виразі значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ для біадичного числа та вагового коефіцієнту $W(A^{(\alpha)})$, отримаємо

$$E(A) = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) \cdot (\lambda(\ell) \lambda(c))^{n_{\text{крт}}-\alpha}. \quad (9)$$

У той же час число формується як дворівневий позиційний опис усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Тому значення коду для УПЧ є кодовим поданням вектора P' , тобто $E(A) = E(P')$. *Теорему доведено.*

Із доведеної теореми витікає, що кодування усіченого вектору двокомпонентних кортежів здійснюється за дворівневою схемою. На першому рівні формує кодове представлення для окремих дворівневих кортежів $\Theta_\alpha^{(2)}$. Відповідно на другому рівні відбувається формування загального кодового представлення для отриманих на першому рівні кодів.

У такому випадку структура кодограми буде складатися з двох частин, включаючи службову та інформаційну частини (рис. 2).



Рис. 2. Структура кодограми для укрупненого позиційного числа

Інформаційна частина кодограми включає в себе кодове представлення значення коду $E(P')$ усіченого вектору двокомпонентних кортежів. Службова частина містить основи компонент кортежу.

На підставі викладеного матеріалу можна зробити висновок про наступне:

- обґрунтована інтерпретація усіченого вектору двокомпонентних кортежів як укрупнених позиційних чисел, елементами якого є кодові значення окремих кортежів, які розглядаються як двоелементне біадичне число;

- отримано кодовий вираз для визначення без втрат інформації коду укрупненого позиційного числа з використанням дворівневої схеми.

Висновки

1. Розроблено модель оцінки кількості інформації в усіченій лінеаризованій трансформанті у

разі формування вектору двокомпонентних кортежів і виявлення структурних обмежень на динамічний діапазон. Показано, що середня кількість потенційно скоро чуваної надмірності, що припадає на один двокомпонентний кортеж, змінюється в межах від 40 до 60 % залежно від ступеня насиченості сегменту зображення. Тут вперше розроблено математичну модель для оцінки інформативності лінеаризованої трансформанти. Відмінні характеристики моделі полягають у тому, що: вектор двокомпонентних кортежів, являє собою двовимірний комбінаторний об'єкт. Це дозволяє оцінити нижню межу ефективності компресії сегментів зображень.

2. Обґрунтовано інтерпретацію усіченого вектора двокомпонентних кортежів як укрупненого позиційного числа невизначеної довжини, елементами якого є коди двоелементних біадичних чисел, утворених для окремих двокомпонентних кортежів.

3. Створено кодостворююче співвідношення, що забезпечує формування коду для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною по дворівневій схемі, а саме: на першому рівні формується кодове подання для окремих двокомпонентних кортежів, а на другому рівні здійснюється формування загального кодового представлення для кодів, отриманих на першому рівні.

Вперше отримано кодостворююче співвідношення для компактного представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів як комбінаторного об'єкта. Відмінність полягає в тому, що кодове значення формується за дворівневою схемою для укрупненого позиційного числа, елементами якого є коди біадичних чисел, утворених для двокомпонентних кортежів. Це дозволяє сформулювати без втрати інформації компактне представлення для лінеаризованої трансформанти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб. : Питер, 2006. — 958 с.
2. Gonzales R. C. Digital image processing / R. C. Gonzales, R. E. Woods. — Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2002. — 779 p.
3. Баранник В. В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В. В. Баранник, В. П. Поляков. — Х. : ХУПС, 2010. — 212 с.
4. Баранник В. В. Обоснование проблемных недостатков технологии компонентного кодирования

трансформированных изображений для средств телекоммуникаций / В. В. Баранник, Ю. В. Стасев, С. В. Туренко // Сучасна спеціальна техніка — ДНДІ, К., 2013. — 4. — С. 17–26.

5. Баранник В. В. Комбинаторная модель вектора двухкомпонентных кортежей для оценки информативности усеченной линиаризированной трансформанты / В. В. Баранник, С. В. Туренко // АСУ и приборы автоматики. — ХНУРЕ, Харьков, 2013. — № 163. — С. 17–26.

6. Yudin O. Decompression of images on base of method of decoding according to the amount of bit changes / O. Yudin, K. Kurin // Наукоємні технології. — 2013. — № 2. — С. 197–201.

7. Юдин О. К. Метод кодирования двоичных последовательностей за количеством битовых переходов / О. К. Юдин, М. Г. Луцкий, К. О. Куринь // Наукоємні технології. — 2013. — Т. 16. — №. 4.

REFERENCES

1. Olfier V. G. Kompyuternye seti. Principy, tehnologii, protokoly: uchebnik dlya vuzov / V. G. Olfier, N. A. Olfier. — SPb. : Piter, 2006. — 958 p.
2. Gonzales R. C. Digital image processing / R. C. Gonzales, R. E. Woods. — Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2002. — 779 p.
3. Barannik V.V. Kodirovanie transformirovannyh izobrazhenij v infokommunikacionnyh sistemah / V. V. Barannik, V. P. Polyakov. — H.: HUPS, 2010. — 212 p.
4. Barannik V. V. Obosnovanie problemnyh nedostatkov tehnologii komponentnogo kodirovaniya transformirovannyh izobrazhenij dlya sredstv telekommunikacij / V. V. Barannik, Y. V. Stasev, S. V. Turenko // Suchasna specialna tehnika — DNDI, K, 2013. — 4. — S. 17–26.
5. Barannik V.V. Kombinatornaya model vektora dvuhkomponentnyh kortezhej dlya ocenki invormativnosti usechyonnoj liniarizirovannoj transformanty / V. V. Barannik, S. V. Turenko // ASU i pribory avtomatiki – HNURE, Harkov. — 2013. — № 163. — S. 17–26.
6. Yudin O. Decompression of images on base of method of decoding according to the amount of bit changes / Yudin O., Kurin K. // Science-Based Technologies. — 2013. — № 2. — С. 197–201.
7. Yudin A. K. The encoding technique of binary sequences by number of bit transitions / A. K. Yudin, M.G. Lutskiy, K. A. Kurin // Science-Based Technologies. — 2013. — Т. 16. — No. 4.

Стаття надійшла до редакції 02.12.2013