

УДК 629.391

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОТОКУ КАДРІВ ІЗ ЗАДАНИМ РІВНЕМ ЦІЛІСНОСТІ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф., **Р. І. Акімов**

Харківський університет Повітряних Сил

Barannik_V_V@mail.ru

Викладено розробку методу реконструкції відеопотоку на основі: ідентифікації рівнів ієрархічної кодової конструкції стисненого потоку; інкапсуляції і декодування біадических базових елементів міжкадрових апертур пакета P-кадрів; апроксимації міжкадрових апертур за її базових елементів; складання пакетів P-кадрів за окремою міжкадровою апертурою; відновлення вихідних кадрів використовуючи інформацію про базу кадрів і матрицю знаків. Обґрунтовано, що створена технологія обробки відеопотоку однозначно і дозволяє різко скоротити кількість внесених спотворень порівняно з технологією на базі MPEG-стандарту, що в кінцевому підсумку підвищує цілісність відеоінформаційних ресурсу.

Ключові слова: цілісність відеоінформації; реконструкція пакетів P-кадрів.

Set out to develop a method of reconstruction of the video stream based on: identifying levels of a hierarchical structure of the compressed code stream; encapsulation and decoding codes biadicheskikh basic elements interframe apertures package P-frames; approximation interframe apertures on its basic elements; reassembly P-frames for individual inter apertures; restoring the original frames using information on the base frame and matrix signs. It is proved that created techno -logy processing video is unique and can dramatically reduce the amount of distortion introduced by comparison with the technology based on MPEG standard, which ultimately increases the integrity of the video information resource.

Keywords: video integrity, reconstruction of P-frames package.

Вступ

Стратегічно важливим напрямом інформатизації держави є забезпечення можливості отримання інформації з використанням різних засобів доступу.

Ключовим тут є метод доступу, заснований на використанні дистанційних засобів збору та доступу до інформаційного ресурсу [1; 2]. Такі технології створюють умови для отримання інформації в необхідному режимі доступу про віддалені об'єкти контролю і управління. У плані економічної безпеки держави важливою складовою є його транспортні артерії.

Основна частка тут припадає на залізничний транспорт. Важлива умова ефективності функціонування залізничного транспорту полягає в забезпеченні доступу до інформаційного ресурсу про стан значущих для даної галузі об'єктів. У цьому плані *актуальною науково-прикладною задачею* є підвищення доступності до інформаційного ресурсу з заданою його цілісністю. Рішення завдання лежить у площині використання технологій компресії відеоданих [3; 4]. Це дозволяє знизити час доступу до відеоінформації.

Сучасні підходи для забезпечення компресії відеопотоків, включаючи платформи MPEG і H264, дозволяють знижувати бітову швидкість відеопотоку. Але таке зниження досягається за рахунок значного зниження цілісності відеоінформаційного потоку і збільшення затримок на його обробку.

Водночас сучасні транспортні системи характеризуються підвищеними швидкостями рухомих складів і зростаючими вимогами щодо якості контролю за станом транспортних об'єктів і вантажів. Тому найбільш перспективними є формати відеопотоку відповідного формату HD для ПВСШ не нижче 40 дБ.

Проте в даний час на залізничному транспорті для передачі відеоконтенту використовуються канали передачі даних з більш низькими швидкостями передачі, ніж $S_c = 2$ М біт/с.

Звідки формовані бітові швидкості перевищують пропускні здатності існуючих інфокомунікаційних технологій від 5 до 50 разів. Це призводить до виникнення тимчасових істотних затримок з доступу до інформації.

У працях [5; 6; 7] викладено розробку методу стиснення відеопотоку на основі формування пакетів P-кадрів та їх міжкадрової обробки. Для відновлення відеопотоку з заданим рівнем цілісності відеоінформаційного ресурсу потрібно організувати процес реконструкції, враховуючи особливості відповідної технології компресії. Тому метою досліджень статті є розробка методу реконструкції відеопотоку з заданим рівнем цілісності.

Розробка методу реконструкції відеопотоку

Для відновлення зображень на основі одержуваних кодових конструкцій, його компактного представлення потрібно виконати такі процедури:

1) здійснити позиціонування і реконструкцію блока пакета Р-кадру з кодової конструкції всього стисненого відеоінформаційного потоку;

2) організувати вибірку і декодування кодограм біадичних чисел для формування базових елементів міжкадрових апертур;

3) провести апроксимацію інтерпольованої елементів міжкадрових апертур за її базових елементів;

4) здійснити збирання пакета шуканих Р-кадрів з окремих міжкадрових апертур;

5) на основі базового кадру і службової інформації про знаки елементів Р-кадрів здійснити відновлення вихідних кадрів зображень.

На першому етапі проводиться декомпозиція кодового представлення окремої відеопослідовності. У цьому випадку отримуємо такі кодові складові рівня пакета Р-кадру:

а) стисле уявлення базового кадру І-типу;

б) представлення інформації про знаки елементів Р-кадрів;

в) представлення інформації про параметри режиму апроксимації апертури;

д) послідовність кодових конструкцій інтегрованих макроблоків, починаючи та закінчуючи.

Компактне представлення базового кадру формується на основі технології, що базується на JPEG-платформі. Оскільки даний кадр є опорним для реконструкції диференціальних кадрів, то в процесі його компресії використовується режим з мінімальними спотвореннями. Реконструкція базового кадру включає в себе такі дії:

– декодування статистичних кодових слів;

– формування послідовності пар, що складаються з значущих компонент та кількості попередніх нульових компонент;

– збірка трансформанти на основі розстановки компонент лінійного вектора по зигзаг-схемі в двовимірному масиві;

– проведення деквантизації, що забезпечує приведення компонент трансформанти до їх вихідного динамічному діапазону;

– здійснення зворотного двовимірного дискретно-косинусного перетворення;

– виконання зворотного коліроразнісного перетворення для представлення елементів відеоданих у вихідному колірному просторі RGB;

– збірка вихідного зображень по окремим сегментам.

Елементом інформаційної частини кодового представлення рівня пакета Р-кадру є кодова конструкція інтегрованого макроблока. Така складова включає в себе кодову конструкцію рівня інтегрованого макроблока пакета Р-кадру.

Оскільки довжина кодової конструкції інтегрованого макроблока є нерівномірною, то початкові її позиції визначаються на основі службового поля кодової конструкції кожного рівня інтегрованого макроблока. Таким службовим полем є поле старт коду інтегрованого макроблока пакета Р-кадрів.

Інтегрований макроблок формувалася з розрахунків забезпечення можливості реконструкції макроблоків вихідного колірному простору в незалежності від інших макроблоків. Запропонований підхід дозволяє здійснювати реконструкцію макроблоків в паралельному або конвеєрному режимах.

Структурною одиницею кодової конструкції інформаційної частини інтегрованого макроблока є кодограма типового блоку, а саме яркісного типу і двох типів колірних складових.

У свою чергу кодограма типового блоку утворюється чотирма кодовими складовими: кодовою структурою $C(D_{1,1}; \delta'_{b,\max}^{(1,1)}; r_a)$ для міжкадрової апертури на позиції (1;1); кодовою структурою $C(D_{2,2}; \delta'_{b,\max}^{(2,2)}; r_a)$ для міжкадрової апертури на позиції (2;2); кодовою структурою $C(D_{3,3}; \delta'_{b,\max}^{(3,3)}; r_a)$ для міжкадрової апертури на позиції (3;3); кодовою структурою $C(D_{4,4}; \delta'_{b,\max}^{(4,4)}; r_a)$ для міжкадрової апертури на позиції (4;4).

Довжина кодограми типового блоку є нерівномірною в силу нерівномірності витрат кількості розрядів на представлення кодових значень міжкадрових апертур.

Для позиціонування типових блоків служить службове поле кодограми типового блоку — старт код блоку пакета Р-кадру.

Кодові складові конструкції інформаційної частини типового блоку формуються кодограмою міжкадрових апертур (рис. 1).

Кодограма міжкадрової апертури є елементарною кодовою одиницею ієрархічного потоку стиснутих відеоданих. Структурно така кодограма містить в собі дві складові: службову та інформаційну.

Службова частина кодограми $C(D_{\xi,\gamma}; \delta'_{b,\max}^{(\xi,\gamma)}; r_a)$ має фіксовану довжину і включає в себе два поля, що містять відповідно інформацію про висоту $D_{\xi,\gamma}$ міжкадрової апертури і величину адаптивного міжкадрового приращення $\delta'_{b,\max}^{(\xi,\gamma)}$.

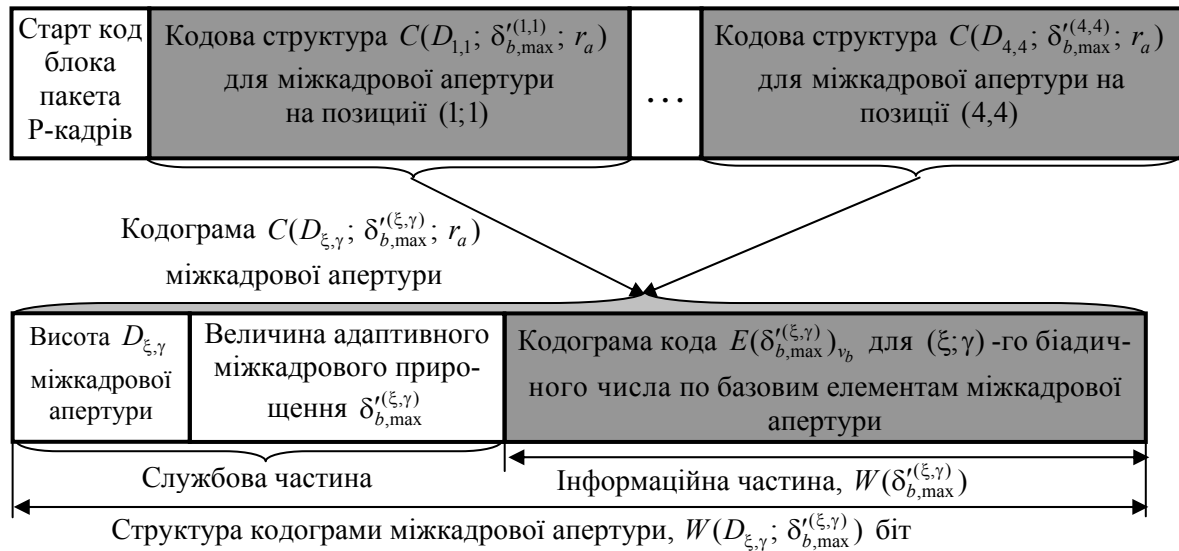


Рис. 1. Структура реконструкції кодограми міжкадрової апертури за кодовою конструкцією блока

Довжини $W(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})$ інформаційної частини кодограми визначаються на основі службової інформації $\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)}$, $D_{\xi,\gamma}$, що містяться в службових полях кодограми міжкадрової апертури. Для цього використовується такий вираз

$$W(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)}) = \lceil \log_2(D_{\xi,\gamma} + 1) + \log_2(2\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)} + 1) \rceil^{v_b - 1} + 1 \text{ біт.}$$

Такий підхід дає змогу уникнути переповнення кодового слова і здійснити однозначну ідентифікацію початкової та кінцевої позиції інформаційної частини кодограми міжкадрової апертури без використання додаткової службової інформації.

Для ідентифікованої інформаційної частини кодограми апертури у ієрархічному потоці стиснених відеоданих забезпечується можливість провести інкапсуляцію значення $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}$ відповідного коду міжкадрової апертури. Після чого проводиться перехід на черговий етап реконструкції відеопотоку, а саме відновлення базових елементів міжкадрової апертури. Даний етап необхідно реалізувати на основі відомих значень коду $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}$ і службових даних локального прирощення $\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)}$, висоти $D_{\xi,\gamma}$ міжкадрової апертури.

Розглянемо розробку біадичного декодування міжкадрових апертур з базових елементів. Реалізація даного етапу організовується в умовах, обумовлених тим, що:

– формування коду для одновимірного біадичного числа є взаємодозначним;

– для відновлення вихідних елементів біадичного числа без втрати інформації, необхідною і достатньою інформацією є значення коду $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}$, величина адаптивного прирощення $\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)}$ і параметри апертури $D_{\xi,\gamma}$, r_a .

Для отримання виразів, що лежать в основі процесу біадичного декодування сформулюємо і доведемо таку теорему.

Теорема про реконструкцію елементів біадичного числа. Початкове одномірне біадичне число $A^{(\xi,\gamma)} = \{a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)}\}$, $\tau=0, v_b - 1$, сформоване за базовими елементами міжкадрової апертури без втрати інформації регенерується за значенням коду $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}$, і величин $\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)}$, $D_{\xi,\gamma}$, r , r_a на основі співвідношення

$$a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} = \left[\frac{E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}}{(2\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)} + 1)^{v_b - 1 - \tau}} \right] - \left[\frac{E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}}{(2\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)} + 1)^{v_b - \tau}} \right] (2\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)} + 1). \quad (1)$$

Доказ. Значення коду $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}$ біадичного числа формується в результаті згортки творів його елементів на вагові коефіцієнти. Тоді без втрати спільності можна розглянути його часткове значення $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}^{(\beta)}$, обчислене для $(v_b - \beta)$ молодших елементів. Величина $E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}^{(\beta)}$ буде визначатися як

$$E(\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)})_{v_b}^{(\beta)} = \sum_{\tau=\beta}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} (2\delta'_{b,max}^{(\xi,\gamma)} + 1)^{v_b - \tau - 1}.$$

Розпишемо отримане співвідношення у вигляді двох доданків, з яких:

- перший доданок містить відновлюваний β -й елемент одномірного біадичного числа, тобто $a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)} (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\beta-1}$;

- другий доданок формується на основі молодших елементів ОБЧ, щодо β -го елемента, тобто

$$\sum_{\tau=\beta+1}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\tau-1}.$$

Після чого підставимо вираз для величини коду $E(\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma))_{v_b}^{(\beta)}$ у формулу (1), і отримаємо

$$a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)} = \left[\frac{a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)} V_{v_b-\beta-1} + \sum_{\tau=\beta+1}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} V_{v_b-\tau-1}}{V_{v_b-\beta-1}} \right] - \left[\frac{a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)} V_{v_b-\beta-1} + \sum_{\tau=\beta+1}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} V_{v_b-\tau-1}}{V_{v_b-\beta}} \right] V.$$

Тут використовуються такі позначення:

$$V_{v_b-\beta-1} = (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\beta-1};$$

$$V_{v_b-\tau-1} = (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\tau-1};$$

$$V_{v_b-\beta} = (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\beta}; \quad V = (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)$$

Оскільки виконуються нерівності:

$$\sum_{\tau=\beta+1}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\tau-1} < (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\beta-1};$$

$$\sum_{\tau=\beta}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)} (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\tau-1} < (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\beta}.$$

то останнє співвідношення перетвориться до такого вигляду

$$a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)} = \left[\frac{a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)} (2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-\beta-1}}{(2\delta'_{b,\max}(\xi,\gamma) + 1)^{v_b-1-\beta}} \right] = a(\beta)_{\xi,\gamma}^{(b)}.$$

Теорема доведена.

Доведена теорема дає можливість отримати систему виразів, що забезпечує відновлення елементів біадичного числа без втрати інформації.

Елементи біадичного числа за умовою обробки відеопотоку є базовими елементами міжкадрової апертури. Це дозволяє перейти до реконструкції елементів апроксимуючої складової міжкадрової апертури. Даний етап реалізується за такою формулою:

$$a(v; \phi)_{\xi,\gamma}^{(a)} = \frac{a(\tau(v)_0)_{\xi,\gamma}^{(b)} + a(\tau(v)_{r_{a+1}})_{\xi,\gamma}^{(b)}}{2}, \quad \phi = \overline{1, r_a},$$

де $a(v; \phi)_{\xi,\gamma}^{(a)}$ — елемент апроксимуючої складової міжкадрової апертури; $a(\tau(v)_0)_{\xi,\gamma}^{(b)}$, $a(\tau(v)_{r_{a+1}})_{\xi,\gamma}^{(b)}$ — базові елементи на кінцях v -ї ділянки інтерполяції.

Після реконструкції елементів апроксимуючої складової формується вихідна міжкадрова апертура

$$A^{(\xi,\gamma)}, \text{ тобто } A^{(\xi,\gamma)} = A(\xi;\gamma)_b \cup A(\xi;\gamma)_a.$$

Тут $a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)}$ — τ -й базовий елемент складової $A(\xi;\gamma)_b$; $a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(a)}$ — τ -й апроксимуючий елемент складової $A(\xi;\gamma)_a$:

- базова складова

$$A(\xi;\gamma)_b = \{a(0)_{\xi,\gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(b)}, \dots, a(v_b)_{\xi,\gamma}^{(b)}\};$$

- апроксимуюча складова

$$A(\xi;\gamma)_a = \{a(0)_{\xi,\gamma}^{(a)}, \dots, a(\tau)_{\xi,\gamma}^{(a)}, \dots, a(v_a)_{\xi,\gamma}^{(a)}\}.$$

На основі отриманих міжкадрових апертур проводиться реконструкція макроблока відповідно з обраним колірним форматом. Після зворотного колірного перетворення з окремих макроблоків будується весь пакет диференціальних кадрів.

На завершальному етапі, на базі інформації про базову кадрів і матриць знаків, здійснюється реконструкція вихідних кадрів відеопотоку.

Отже, за викладеним матеріалом можна сказати таке:

1) розроблений метод реконструкції вихідного відеопотоку на основі:

- ідентифікації рівнів ієрархічної кодової конструкції стисненого потоку;

- інкапсуляції і декодування біадичних кодів базових елементів міжкадрової апертур пакета R-кадрів;

- апроксимації міжкадрової апертури за її базових елементів;

- складання пакетів R-кадрів за окремою міжкадрової апертурою;

- відновлення вихідних кадрів використовуючи інформацію про базову кадрів і матриць знаків.

2) створена технологія обробки відеопотоку є однозначною і дає змогу різко скоротити кількість внесених спотворень порівняно з технологією на базі MPEG стандарту. Це забезпечується такими властивостями:

- контрольованість похибок досягається на етапі формування апроксимованої складової міжкадрової апертури;

- процеси біадичного кодування і декодування є взаємно однозначними, тобто обробка здійснюється без втрати інформації;

- відсутні етапи, пов'язані з інтерполяцією і пропусканням кадрів, відкиданням компонент кадрів і макроблоків.

Отже, інтегрована технологія в стандарт MPEG забезпечує скорочення кількості спотворень в процесі обробки відеопотоку.

Висновки

Розроблено метод реконструкції вихідного відеопотоку на основі: ідентифікації рівнів ієрархічної кодової конструкції стисненого потоку; інкапсуляції і декодування біадичних кодів базових елементів міжкадрових апертур пакета Р-кадрів; апроксимації міжкадрових апертур за її базових елементів; складання пакетів Р-кадрів за окремими міжкадровими апертурами; відновлення вихідних кадрів використовуючи інформацію про базову кадрів і матриць знаків.

Створена технологія обробки відеопотоку є однозначною і дозволяє різко скоротити кількість внесених спотворень порівняно з технологією на базі MPEG-стандарту. Це забезпечується такими властивостями: контрольованість похибок досягається на етапі формування апроксимованої складової міжкадрової апертури; процеси біадичного кодування і декодування є взаємно однозначними, тобто обробка здійснюється без втрати інформації; відсутні етапи, пов'язані з інтерполяцією і пропусканням кадрів, відкиданням компонент кадрів і макроблоків. Отже, інтегрована технологія в стандарт MPEG забезпечує скорочення кількості спотворень в процесі обробки відеопотоку.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Державна* комплексна програма реформування та розвитку ЗС України на 2012–2017 рік.

2. *Автоматизированная* система коммерческого осмотра поездов и вагонов / под ред. В. Н. Солошенко. — М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008.

3. *Ватолин Д.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. — М. : Диалог-Мифи, 2003. — 381 с.

4. *Баранник В. В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В. В. Баранник, В. П. Поляков. — Х. : ХУПС, 2010. — 212 с.

5. *Акимов Р. И.* Технология кодирования пакетов предсказанных кадров в инфокоммуникационных системах / Р. И. Акимов // Сучасна спеціальна техніка — ДНДІ. — К. : № 4. — 2012. — С. 25–34.

6. *Баранник В. В.* Методологические принципы биадического представления межкадровых апертур видеoinформационного потока / В. В. Баранник, Р. И. Акимов // Сучасна спеціальна техніка — ДНДІ. — К. : № 42. — 2013. — С. 12–21.

7. *Юдин О. К.* Розробка сучасних стандартів стиснення відеоданих / О. К. Юдин, К. О. Курінь // Захист інформації. — 2010. — Т. 12. — № 3 (48).

REFERENCES

1. *Derzhavna kompleksna programma reformuvannya* ZS Ukrainy na 2012–2017 rik.

2. *Avtomatizirovannaya sistema komercheskogo osmotra poezdov i vagonov* / Pod red. V. N. Soloshenko. — M. : GOU “Uchebno-metodicheskij center po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte”, 2008.

3. *D. Vatolin.* Metody czhatiya danih. Ustrojstvo arhivatorov, szhatie izobrazhenij i video / Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Yudin V. — M. : Dialog-Mifi, 2003. — 381 p.

4. *Barannik V. V.* Kodirovanie transformirovannyh izobrazhenij v infokommunikacionnyh sistemah / V. V. Barannik, V. P. Polyakov. — H. : HUPS, 2010. — 212 p.

5. *Akimov R. I.* Tehnologiya kodirovaniya paketov predskazannyh kadrov v infokommunikacionnyh sistemah // Suchasna specialna tehnika — DNDI. — K. : № 4. — 2012. — S. 25–34.

6. *Barannik V.V.* Metodologicheskie principy biadicheskogo predstavleniya mezhkadrovih apertur videoinformacionnogo potoka / V. V. Barannik, R. I. Akimov // Suchasna specialna tehnika — DNDI. — K. : № 42. — 2013. — S. 12–21.

7. *Yudin A. K.* Development of the modern compression standards of video data / A. K. Yudin, K. A. Krin // Information security. — 2010. — T. 12. — No. 3 (48).

Стаття надійшла до редакції 02.12.2013