

DOI: 10.18372/2310-5461.43.13979

УДК 004.942(67)

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф.

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба
orcid.org/0000-0002-2848-4524
e-mail: vvbar.off@gmail.com;

Ю. М. Рябуха

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба
orcid.org/0000-0002-4305-1540
e-mail: Barannik_V_V@ukr.net;

В. В. Твердохліб

Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0002-2996-9523
e-mail: vitalii.tverdoklib@nure.ua;

Ю. М. Бабенко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
orcid.org/0000-0002-8115-3329
e-mail: babenkomahalych@gmail.com;

А. Д. Сорокун

Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-8469-641X
e-mail: sorokun@gmail.com

МЕТОД КОДУВАННЯ БІТОВОГО ОПИСУ ТРАНСФОРМАНТ НА БАЗІ НЕЗАЛЕЖНИХ КОДОВИХ СТРУКТУР У ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ

Вступ

З огляду на постійне збільшення обсягів трафіку, що передаються мережею, ще більш гостро, ніж раніше, постає питання ефективної доставки даних кінцевим користувачам. Найбільшою мірою це стосується відеотрафіку, відсоток якого за прогнозами сягне відмітки майже 85 відсотків [1]. Причиною цього, з одного боку, є збільшення кількості відео-сервісів та зростання кількості їхніх користувачів. Це, зокрема, сервіси відеохостингу (YouTube, Vimeo тощо), онлайн-трансляції (Periscope, Meerkat), відеоконференц-зв'язок, відеоспостереження.

З іншого боку, відбувається поступове впровадження послуг, що передбачає фіксацію та передавання відеоультра високої роздільної здатності (UHDTV, аналітика даних відеоспостереження, голографічний зв'язок та ін.).

Тобто, спостерігається зростання обсягів відеотрафіку на фоні посилення вимог до якості прийнятих даних. Водночас з цим, відбувається також зростання пропускної здатності мережі, проте темпи його зростання відстають від темпів збільшення об'ємів трафіку.

Постановка проблеми

Для забезпечення ефективної передавання відео недостатньо існуючих сьогодні підходів. Це, зокрема, стосується управління трафіком на мережевих вузлах. Ефективність даного підходу, що базується на пріоритизації пакетів даних та подальшій обробці черг пакетів відповідно до встановленого пріоритету з таких причин:

1. В умовах урізноманітнення мережевих сервісів та появи нових послуг існує велика ймовірність одночасного заповнення буферу мережевого вузла пакетами, які мають найвищий пріоритет (у тому числі це стосується і відеоданих). За цих умов, коли частина пакетів буде втрачена, зокрема, не буде оброблена за визначений час, не буде забезпечена якість високо пріоритетного сервісу.

2. Загальне навантаження на мережу не змінюється, відбувається виключно перерозподіл потоків даних між вузлами мережі.

У таких умовах більш ефективними є методи, спрямовані на забезпечення управління інформаційною інтенсивністю відеотрафіка. При цьому здійснюється зміна інтенсивності відео відповідно до динаміки зміни пропускної здатності мережі.

Зрозуміло, що зміна інтенсивності відео буде здійснюватися шляхом змін одного або декількох параметрів кодування відео потоку. При цьому, окрім, власне, механізмів, здатних виконувати маніпулювання обсягом даних, які будуть надходити у канал, попередньо необхідно задіяти механізм кодового представлення відеоданих

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сьогодні найбільш поширені методи кодування, спрямовані на зниження ймовірнісно-статистичної надмірності [2–8]. Проте, це методи мають ряд недоліків, серед яких такі:

- подальше підвищення коефіцієнта стиснення не може бути забезпечене без втрати якості відеоданих;

- існуючі методи кодування здійснюють обробку відеопотоку на рівні окремих кадрів, або трансформант ДКП.

Тобто, на основі традиційних методів кодування у процесі управління відсутня можливість забезпечення гнучкого кроку зміни інтенсивністю відео.

Отже, при цьому:

- не забезпечується необхідна оперативність обробки відеоданих (час обробки може бути таким, що перевищує допустиму затримку);

- під час обробки може вноситися помилка, величина якої перевищує припустиме значення за вимогами якості надання сервісу.

Звідси випливає, що подальше збільшення коефіцієнта стиснення доцільно забезпечувати за рахунок організації виключення нових видів надмірності [9–11].

У рамках даного підходу одним з таких видів надмірності є структурна надмірність. Даний тип надмірності проявляється на рівні окремої трансформанти ДКП у закономірностях розміщення довжин серій двійкових елементів її опису.

Разом з тим, ключовими вимогами до способу виявлення особливостей розміщення довжин серій двійкових елементів є простота реалізації, невимогливість до обчислювальних ресурсів апаратної платформи [12–15], за діяння мінімального обсягу службових даних [16–21].

Виклад основного матеріалу

Для виявлення закономірностей розміщення двійкових елементів у межах трансформанти ДКП, можна розглянути такі способи обходу трансформанти, як:

- на рівні компонент;
- на рівні бітового опису.

Виявлення закономірностей розміщення двійкових елементів на рівні компонент може здійснюватися починаючи зі старшого біту двійкового

опису компоненти. При цьому, двійковий опис компоненти $\tilde{N}(p)_{k\ell}$ буде мати вигляд:

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

де $\beta_{k\ell}^{(n-\mu)}$ є $(n-\mu)$ -м двійковим елементом 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 — кількість розрядів для представлення компоненти.

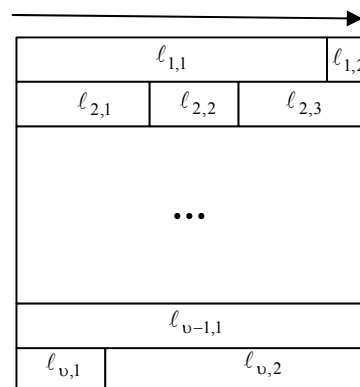
При компонентному способі обходу трансформанти формуються довжини двійкових серій як послідовності

$$\{l(1)_{k\ell}^{(q,i)}, \dots, l(\theta)_{k\ell}^{(q,i)}, \dots, l(\Theta)_{k\ell}^{(q,i)}\},$$

де $l(\theta)_{k\ell}^{(q,i)}$ — довжина θ -ї двійкової серії, виявленої у межах двійкового представлення $(k;\ell)$ -ї компоненти q -ї трансформанти i -го кадру.

Очевидно, що збільшення довжини $l(\theta)_{k\ell}^{(q,i)}$ двійкової серії сприяє більш ефективному усуненню структурної надмірності та, відповідно, зростанню коефіцієнту стиснення.

У той же час, можливості такого способу обходу трансформанти з позицій виявлення довжин двійкових серій є обмеженими. Це пов'язано з тим, що ймовірність появи двійкових елементів у межах компоненти є рівномірною. У свою чергу, у межах трансформанти велика кількість високочастотних компонент будуть нульовими. З огляду на таку закономірність, виявлення серій двійкових елементів доцільно виконувати на рівні бітового опису. При цьому, зчитування двійкових елементів здійснюється у межах окремих бітових площин (тобто, сукупностей біт одного розряду) у напрямку рядків (див. рисунок).



Приклад виявлення довжин двійкових серій у межах бітової площини у напрямку рядків

Іншою ключовою перевагою такого підходу є те, що при цьому може бути отримано кодове представлення трансформанти $Y^{(q,i)}$ у вигляді

множини кодових конструкцій бітових площин $Y(\mu)^{(q,i)}$, а саме:

$$Y^{(q,i)} = \bigcup_{\mu=1}^{\nu} Y(\mu)^{(q,i)}, \quad (1)$$

де ν — кількість бітових площин.

Разом із тим такий спосіб декомпозиції трансформант ДКП у разі потреби дає змогу забезпечити відновлення зображень за ієрархічним принципом. При цьому, на першому кроці відновлення зображення будуть задіяні біти старшого розряду, що сприяє відтворенню грубого образу зображення. На другому та наступуючих етапах за рахунок задіяних біт молодших розрядів, виконується уточнення зображення.

У свою чергу, значення коду $E(q)_{\xi}^{(\mu)}$ для ξ -ї послідовності довжин двійкових серій, яку було виявлено у межах μ -ї бітової площини q -ї трансформанти, розглядається як позиційне число за основою 2, а саме:

$$E(q)_{\xi}^{(\mu)} = \sum_{\theta=1}^{\Theta_{\xi}} \ell_{\xi,\theta}^{(\mu)} \prod_{\phi=\theta+1}^{\Theta_{\xi}} (b_{\phi} + 1),$$

де $\ell_{\xi,\theta}^{(\mu)}$ — довжина θ -ї двійкової серії ξ -ї послідовності довжин двійкових серій, у межах μ -ї бітової площини; $(b_{\phi} + 1)$ — основа елемента $\ell_{\xi,\theta}^{(\mu)}$, що розглядається як елемент неріванованого позиційного числа (НРПЧ); $\prod_{\phi=\theta+1}^{\Theta_m} (b_{\phi} + 1)$ — ваговий коефіцієнт для довжини θ -ї серії; Θ_m — кількість довжин двійкових серій m -ї послідовності.

Для зменшення обсягу службових даних обчислення основи елемента НРПЧ виконується для довжин двійкових серій кожного рядка, як показано таким виразом:

$$b_{\phi} = \max \{ \ell_{\alpha,1} \ell_{\alpha,2} \dots \ell_{\alpha,\beta} \dots \ell_{\alpha,\varepsilon} \} + 1, \\ \alpha = \overline{1, \varepsilon}.$$

Тоді кодовий опис μ -ї бітової площини буде складатися зі значень кодів $E(q)_{\xi}^{(\mu)}$ послідовностей довжин двійкових серій. При цьому, об'єднання кодових конструкцій $E(q)_{\xi}^{(\mu)}$ окремих бітових площин, аналогічно виразу (1), утворює кодову конструкцію $E(q)$ трансформанти $Y^{(q,i)}$:

$$E(q) = \bigcup_{\mu=1}^{\nu} E(q)_{\xi}^{(\mu)} = \bigcup_{\mu=1}^{\nu} \bigcup_{\xi=1}^{\Psi} E(q)_{\xi}^{(\mu)}. \quad (2)$$

Таким чином, створюється кодовий опис $E(q)$ трансформанти, у якому складники $E(q)_{\xi}^{(\mu)}$, кожен з яких відповідає певній бітій площині, є незалежними між собою.

Тобто, виключення будь-якого $E(q)_{\xi}^{(\mu)}$ з виразу (2) не призведе до руйнування загальної конструкції коду.

Отже, це дає змогу застосувати такий спосіб кодового опису трансформант для маніпулювання кількістю біт для їх представлення.

У свою чергу, це дає змогу побудови на базі незалежних кодових конструкцій механізмів управління інформаційною інтенсивністю відеопотоку.

Висновки

Приведений загальний опис підходу до побудови кодового представлення фрагментів відеопотоку, а саме — трансформант ДКП, у вигляді сукупності кодограм окремих бітових площин трансформанти.

У рамках кодових конструкцій трансформант кожна з кодограм її бітових площин є незалежними між собою. Тобто, при виключенні однієї або кількох кодограм, на боці передатчика руйнування кодового опису трансформанти не відбувається.

Сформований кодовий опис дає змогу відновити трансформанту на прийомному боці з деякими погрешностями.

Маніпулювання кількістю кодограм, що здійснюється для опису трансформанти, дає можливість змінювати кількість біт, що необхідно для їх представлення. У свою чергу, це дає змогу використати розглянутий метод кодування у складі технології управління інтенсивністю відеоданих.

ЛІТЕРАТУРА

1. **VNI Forecast Highlights Tool.** URL: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html (дата звернення 26.07.2019)
2. **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М. : ДИАЛОГ–МИФИ, 2003. 384 с.
3. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2005. 1073 с.
4. **Миано Дж.** Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учеб. пособие; пер. с англ. М. : Триумф, 2003. 336 с.
5. **Ричардсон Ян.** H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-Generation Multimedia. М. : Техносфера, 2005. 368 с.
6. **Shi Yun Q.** Image and video compression for multimedia engineering: fundamentals, algorithms, and standards. CRC Press, NY, 2008, 576 p.
7. **Ablamejko S. V., Lagunovskij D. M.** Obrabotka izobrazhenij: tehnologija, metody, primenenie. Minsk, 2000. 303 p.

8. **Salomon. D.** Data Compression: The Complete Reference. Fourth Edition. Springer-Verlag London Limited, 2007. 899 p.

9. **Barannik V. V.,** Kharchenko N. A., Tverdokhlebov V. V., Kulitsa O. The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality. 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

10. **Barannik V. V.,** Krasnoruckiy A., Hahanova A. The positional structural-weight coding of the binary view of transformants. Proceedings of the *International Conference on East-West Design and Test Symposium* (EWDTS), September 2013, pp. 1–4. DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673178

11. **Barannik V.,** Podlesny S., Tarasenko D., Barannik D., Kulitsa O. The video stream encoding method in infocommunication systems, 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.

12. **Zhang Y.,** Negahdaripour S., Li Q. Error-resilient coding for underwater video transmission, OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, Monterey, CA, 2016. pp. 1–7.

13. **Wang S.,** Zhang X., Liu X., Zhang J., Ma S., Gao W. Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression, *IEEE Transactions on Multimedia*. 2017. vol. 19. no. 3. pp. 660–667.

14. **Baccouch H.,** Ageneau P. L., Tizon N., Boukhatem N. Prioritized network coding scheme for multi-

layer video streaming. Proceedings of the International Conference on 14th *IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference* (CCNC). 2017. pp. 802–809.

15. **Tsai W. J.,** Sun Y. C. Error-resilient video coding using multiple reference frames, Proceedings of the International Conference on *IEEE International Conference on Image Processing*. 2013. pp. 1875–1879.

16. **Rao K. R.,** Hwang J. J. Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

17. **Ding Z.,** Chen H., Gao Y., Peng Q. GPU accelerated interactive space-time video matting. *Computer Graphics International*. 2010. P 163–168.

18. **Christophe E.,** Lager D., Mailhes C. Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2005. Vol. 43. No 9. pp. 2103–2114.

19. **Lee S. Y., Yoon J. C.** Temporally coherent video matting. *Graphical Models* 72. 2010. P. 25–33.

20. **Barannik V. V.,** Ryabukha Yu. N., Podlesnyi S. A. Structural slotting with uniform redistribution for enhancing trustworthiness of information streams, *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of *Elektrosvyaz and Radiotekhnika*)*. 2017. No. 76 (7). pp. 607. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i7.40.

21. **Chigorin A.,** Krivovoyaz G., Velizhev A., Konushin A. A method for traffic sign detection in an image with learning from synthetic data, Proceedings of the International Conference on *Digital Signal Processing and its Applications*. 2012. pp. 316–335.

Бараннік В. В., Рябуха Ю. М., Твердохліб В. В., Бабенко Ю. М., Сорокун А. Д. МЕТОД КОДУВАННЯ БІТОВОГО ОПИСУ ТРАНСФОРМАНТ НА БАЗІ НЕЗАЛЕЖНИХ КОДОВИХ СТРУКТУР У ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ

У статті приводиться загальний опис підходу до побудови кодового представлення фрагментів відеопотоку, а саме – трансформант ДКП. Таке кодове представлення являє собою певну сукупність кодограм окремих бітових площин трансформанти. У свою чергу, кодограма кожної з бітової площини будується з використанням виявлення довжин серій двійкових елементів у межах кожної з них. Виявлення серій двійкових елементів у рамках запропонованого методу при цьому здійснюється у напрямку рядків. Отримувані при цьому кодограми бітових площин формуються на базі нерівноважних позиційних кодів. На відміну від традиційних методів кодування, орієнтованих на зменшення ймовірно-статистичної надмірності, у даному випадку виконується усунення структурної надмірності бітового опису трансформант кадрів відео потоку. При цьому, кодовий опис кожної з трансформант формується окремо. Інакше кажучи, у рамках кодових конструкцій трансформант кожна з кодограм її бітових площин є незалежними між собою. Тобто, при виключенні однієї або кількох кодограм, що несуть у собі опис тієї чи іншої кількості бітових площин, на прийомному боці руйнування усього кодового опису трансформанти не відбувається. Тобто, сформований кодовий опис дає змогу відновити трансформанту на прийомному боці з деякими погрешностями. Звідси виходить, що така маніпуляція кількістю кодограм, які були початково задіяні для опису трансформант кадру відеопотоку дає при цьому змогу змінювати кількість біт, яка необхідна для її кодового опису. Отже, відбувається фактично додаткове скорочення інформаційної інтенсивності даних, що передаються, окрім скорочення, яке досягається за рахунок власне переведення опису трансформанти до вигляду позиційного коду. У свою чергу, це дає змогу використання розглянутого методу кодування як базис у складі технології управління інтенсивністю відеоданих. Розроблений метод при цьому не потребує істотних обчислювальних потужностей для його ефективного функціонування, оскільки побудова коду бітового опису потребує меншого обсягу апаратних ресурсів за рахунок скорочення динамічного діапазону обчислень у порівнянні з компонентним кодуванням

Ключові слова: бітова площина; трансформанта ДКП; інформаційна інтенсивність; відеопотік.

Barannik V., Ryabukha Yu., Tverdokhlib V., Babenko Yu., Sorokun A.

METHOD OF TRANSFORMANT CODE DESCRIPTION CODING BASED ON INDEPENDENT CODE STRUCTURES IN THE TECHNOLOGY OF THE VIDEO-STREAM INTENSITY CONTROL

The article provides a general description of the approach to building a code representation of video stream fragments, namely, a DCT transformant. Such code representation is a set of codograms of individual bit planes of transformants. In turn, a codogram of each bit plane is constructed using the detection of the lengths of a series of binary elements within each of them. Detection of a series of binary elements within the proposed method is in the direction of the rows. The resulting bitmap codes are formed on the basis of non-equilibrium position codes. Unlike traditional coding techniques that aim at reducing probabilistic statistical redundancy, in this case, the structural redundancy of the bit description of video stream frame transformants is eliminated. In this case, the code description of each of the transformants is formed separately. In other words, within the code structures, the transformants of each of the codograms of its bit planes are independent of each other. That is, with the exception of one or more codograms that carry a description of one or another number of bit planes, no transformants occur on the receiving side of the destruction of the entire code description. That is, the generated code description allows you to repair the transformant on the receiving side with some errors. It turns out that such manipulation of the number of codograms that were initially used to describe the transform of the video stream frame allows to change the number of bits required for its code description. Thus, in this way, there is actually an additional reduction in the information intensity of the transmitted data, in addition to the reduction that is achieved by actually translating the transformant description to the appearance of the position code. In turn, this makes it possible to use the encoding method in question as a basis for video intensity management technology. The developed method does not require significant computing power for its effective functioning, since the construction of the bit description code requires less hardware resources by reducing the dynamic range of computation compared to component coding.

Keyword: Bit-plane; DCT transformant; information intensity; video-stream

Баранник В. В., Рябуха Ю. Н., Твердохлеб В. В., Бабенко Ю. М., Сорокун А. Д.

МЕТОД КОДИРОВАНИЯ БИТОВОГО ОПИСАНИЯ ТРАНСФОРМАНТ НА ОСНОВЕ НЕЗАВИСИМЫХ КОДОВЫХ СТРУКТУР В ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ВИДЕОПОТОКА

В статье приводится общее описание подхода к построению кодового представления фрагментов видеопотока, а именно - трансформант ДКП. Такое кодовое представление представляет собой определенную совокупность кодограмм отдельных битовых плоскостей трансформанты. В свою очередь, кодограмма каждой из битовой плоскости строится с использованием обнаружения длин серий двоичных элементов в пределах каждой из них. Выявление серий двоичных элементов в рамках предложенного метода при этом осуществляется в направлении строк. Получаемые при этом кодограммы битовых плоскостей формируются на базе неравновесных позиционных кодов. В отличие от традиционных методов кодирования, ориентированных на уменьшение вероятностно-статистической избыточности, в данном случае выполняется устранение структурной избыточности битового описания трансформант кадров видео потока. При этом кодовое описание каждой из трансформант формируется отдельно. Иначе говоря, в рамках кодовых конструкций трансформант каждая из кодограмм ее битовых плоскостей являются независимыми между собой. То есть, при исключении одной или нескольких кодограмм, несущих в себе описание того или иного количества битовых плоскостей, на приемной стороне разрушения всего кодового описания трансформанты не происходит. То есть, такое кодовое описание позволяет восстановить трансформанты на приемной стороне с некоторыми погрешностями. Отсюда следует, что такая манипуляция количеством кодограмм, которые были изначально задействованы для описания трансформант кадра видеопотока, дает при этом возможность изменять количество бит, необходимое для ее кодового описания. Следовательно, происходит фактически дополнительное сокращение информационной интенсивности передаваемых данных, кроме сокращения, которое достигается за счет собственно перевода описания трансформанты к виду позиционного кода. В свою очередь, это позволяет использование рассматриваемого метода кодирования как базиса в составе технологии управления интенсивностью видеоданных. Разработанный метод при этом не требует существенных вычислительных мощностей для его эффективного функционирования, поскольку построение кода битового описания требует меньшего объема ресурсов за счет сокращения динамического диапазона вычислений по сравнению с компонентным кодированием.

Ключевые слова: битовая плоскость; трансформанта ДКП; информационная интенсивность; видеопоток.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2019 р.

Прийнято до друку 06.10.2019 р.