

УДК 621.327:681.5

В. В. БАРАННИК¹, О. Ю. ОТМАН ШАДИ², И. О. ИВАНЧЕНКО¹¹ Харківський університет Воздушних Сил ім. Івана Кожедуба² Харківський національний університет радіоелектроніки

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ КАДРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОДОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Обосновано наличие дисбаланса между интенсивностью видеопотока и пропускной способностью сети. Выявлены достоинства стандартизированной технологии кодирования базовых кадров, а именно то, что: сокращается задержка на выявление закономерностей и кодирование данных; существует возможность выбора соотношения между степенью сжатия и качеством изображения. Показана необходимость построения стратегии и алгоритма кодирования квантованной трансформанты базового кадра с учетом использования таких свойств как: концентрация основной энергии исходного сигнала в ограниченном количестве низкочастотных компонент трансформанты; выделение области высокочастотных компонент, несущих информацию о мелких деталях изображений; наличие компонент трансформанты с нулевыми значениями. Разрабатывается технологическая концепция обработки базовых кадров для снижения интенсивности кодового представления на MPEG-платформе, которая базируется на совершенствовании механизмов, содержащих этапы, обеспечивающие непосредственное формирование кодовых конструкций сжатого представления с учетом выявленных закономерностей статистической и психовизуальной природы.

Ключевые слова: интенсивность видеопотока, кодовые конструкции, базовые кадры, сжатие кадра.

Введение

Инфокоммуникационные системы за последнее десятилетие претерпевают значительное развитие. Основная причина здесь заключается в стремлении компаний и частных лиц осуществлять обмен значительным количеством различных типов информации. Повышенное значение приобретают беспроводные технологии [1]. Развитие беспроводных систем связи и их характеристик относительно предоставления различных сервисов классифицируется в соответствии с поколениями. Сейчас развиваются технологии связи четвертого поколения. Стандарты поколения 4G должны обеспечить скорости входящих данных в 1 Гбит/с для стационарных и 100 Мбит/с для мобильных терминалов. Их пропускная способность используется для различного набора услуг передачи данных, а в частности и видеoinформационных услуг. По данным ежегодных исследований, проводимых компанией Cisco, характерной чертой существующих сетей и сетей следующего поколения является рост их использования для доставки видеoinформационного трафика. Такая тенденция неизбежно приводит к росту нагрузки на инфокоммуникационные системы. Поэтому снижение интенсивности сжатого потока видеокадров в инфокоммуникационных системах (ИКС) для повышения качества видеoinформационного сервиса является **актуаль-**

ной научно-прикладной задачей. В этом направлении требуется достичь повышения степени сжатия, что задается формулой

$$k_c \rightarrow \max. \quad (1)$$

При этом требуется обеспечить следующее: баланс между интенсивностью I_k сжатого потока и скоростью U_{Π} передачи по каналу связи; заданный уровень $h_{\text{тр}}$ качества реконструкции видеокадров. Это формализуется следующими соотношениями:

$$I_k = f(I(v_t); k_c; h) \leq U_{\Pi} \quad \& \\ h \geq h_{\text{тр}}. \quad (2)$$

Также для повышения эффективности функционирования ИКС, необходимо обеспечить требуемую задержку $t_{\text{тр}}$ по доставке потока видеокадров

$$t_p \leq t_{\text{тр}}. \quad (3)$$

Здесь $t_{\text{тр}}$ - требуемая задержка доставки видеопотока; $h_{\text{тр}}$ - требуемое ПОСШ; U_{Π} - скорость передачи для инфокоммуникационных технологий.

Обоснование направления решения задачи

Стандартными для обработки видеопотоков являются MPEG-технологии, которые базируются на кадровой классификации с последующей их обработкой JPEG совместимыми платформами. Базовой структурной единицей MPEG-потока является групповой кадр (ГК, Group of Pictures – GOP). Групповой кадр состоит из нескольких кадров разного типа. Группа кадров включает в себя: I кадр (Intra); предсказываемые Р кадры (Predicted); В кадры двунаправленного предсказания (Bidirectional) [2; 3].

В этом случае интенсивность $I(\text{GOP})_k$ компрессированного видеопотока, приходящаяся на группу кадров, будет оцениваться по следующей формуле:

$$I(\text{GOP})_k = I_I + 2I_P + 5I_B, \quad (4)$$

где I_I , I_P , I_B - значения интенсивностей для компактно-представленных кадров соответственно I-типа, P-типа и B типа.

Также важно учитывать, что, если v_t кадров должны передаваться за 1 с, то группа из 8 кадров должна передаваться за время t_{GOP} равное $t_{\text{GOP}} = 8/v_t$ (сек). Отсюда получаем, что интенсивность компактно-представленной группы из 8 кадров определяется как объем $I(\text{GOP})_k$ в битах, передаваемый за время t_{GOP} .

При этом устанавливается неравнозначное влияние кадров различных типов на качество реконструкции всех кадров в GOP. Иерархия значимости типов кадров выглядит следующим образом: $I \rightarrow P \rightarrow B$. Такая иерархия проявляется в процессе обработки в том, что снижаются требования относительно качества реконструкции кадров в зависимости от их значимости. Зависимость усредненных значений пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ) для восстановленных после декомпрессии кадров от их типа приведена в табл. 1.

Таблица 1

Требования относительно визуального качества кадров по метрике ПОСШ

Тип кадра	I-кадр	P-кадр	B-кадр
Величина ПОСШ, дБ	35 – 45	25 – 30	18 – 20

Как видно из данной таблицы разница между требуемыми значениями ПОСШ для разных типов кадров находится в среднем на уровне 10 дБ. Такая разница приводит к тому, что в процессе обработки для кадров в зависимости от их типа будет достигаться различное значение степени сжатия. Зависимость степени сжатия для различных типов кадров от пикового отношения сигнал шум представлена в виде диаграмм на рис. 1. Из анализа диаграмм на рис. 1 вытекает, что степень сжатия кадров I-типа в среднем в 2,5 раза меньше по сравнению со степенью сжатия кадров P-типа и в 10 раз относительно степени сжатия кадров B-типа.

Соответствующая усредненная оценка интенсивностей для различных типов кадров в зависимости от ПОСШ показана в виде диаграмм на рис. 2. В качестве структуры кадра выбирался формат 4CIF (720x576).

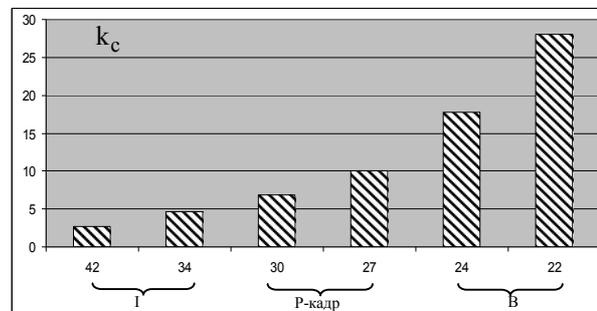


Рис. 1. Значения k_c для различных типов кадров со средней насыщенностью деталями в зависимости от h в случае обработки по JPEG-технологии

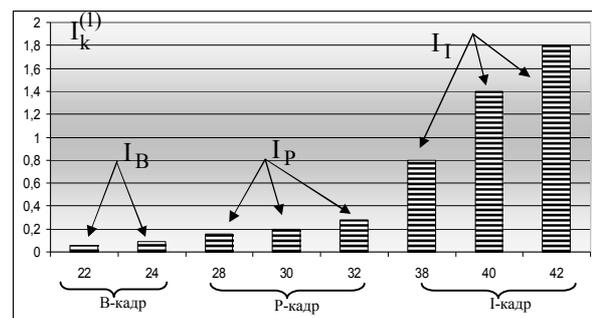


Рис. 2. Значения $I_k^{(1)}$ для разных типов кадров в зависимости от h

Анализ диаграмм на рис. 2 показывает, что:

- усредненная интенсивность для базового кадра превышает интенсивность битового представления P-кадров в 11 раз, а интенсивность битового представления B-кадров в 30 раз;

- интенсивность кодового представления только одного базового кадра формата 4CIF (720x576) достигает 2 Мбит/с. Если использовать для базового кадра формат HD (1280x720), то интенсивность ко-

дового представления возрастает дополнительно в несколько раз. Это повышает нагрузку на сети с пропускной способностью ниже 10 Мбит/с.

На основе данных, представленных на рис. 2, проведем оценку значений интенсивности $I(\text{GOP})_k$ и $I_k^{(24)}$ видеопотока, приходящего, соответственно, на группу кадров и на поток из 24 кадров в секунду. Расчеты проводятся по формуле (4) и представлены в табл. 2. В последней строке табл. 2 приведены значения в процентах ΔI_1 удельного веса интенсивности I_1 кодового представления базового кадра относительно суммарной интенсивности $I(\text{GOP})_k$ группы кадров.

Таблица 2
Зависимость интенсивностей $I_k^{(24)}$
от ПОСШ, М бит/с

Тип кадра	h дБ					
	42	40	40	40	38	38
I-кадр	42	40	40	40	38	38
P-кадр	28	28	30	32	28	30
B-кадр	22	22	24	24	22	24
$I_k^{(24)}$	7,2	6	6,75	7,2	5,2	4,95
$\Delta I_1, \%$	75	70	62	58	57	48

Анализ данных в табл. 2 позволяет заключить следующее.

Во-первых, интенсивность $I_k^{(24)}$ видеопотока, который требуется доставлять за одну секунду, превышает реальную пропускную способность беспроводных технологий, для которых $U_{\text{п}} = 2 - 4$ Мбит/с. В случае использования кадра формата HD (1280x720) дисбаланс между интенсивностью I_k и скоростью передачи по сети $U_{\text{п}}$ будет расти. В итоге для передачи информации в реальном времени необходимо будет использовать канал связи с пропускной способностью не ниже, чем $U_{\text{п}} > 16$ Мбит/с.

Во-вторых, как показывает анализ данных в последней строке табл. 2, вклад интенсивности кодового представления базового кадра в суммарную интенсивность I_k видеопотока в зависимости от качества визуальной реконструкции кадров изменяется от 50 до 75 %. При этом вклад базового кадра в общую интенсивность компрессионного представления возрастает с увеличением качества реконструкции видеопотока. Это указывает на значимое влияние интенсивности базового кадра на суммарную интенсивность видеопотока.

Отсюда в качестве направления совершенствования технологий компрессии видеопотока для снижения его интенсивности *предлагается* модернизировать методы обработки базовых кадров. В связи с этим, *цель исследований* статьи состоит в обосновании направления совершенствования технологии обработки базовых кадров в составе платформы компрессии видеопотока и разработки технологической концепции обработки базовых кадров в системе компрессии видеопотока.

Основная часть

Технологии снижения интенсивности видеопотока, базирующиеся на MPEG-платформе, поддерживают комплекс рекомендаций относительно использования методов компрессии базовых кадров. Стандартизированные методы обработки базовых кадров являются JPEG-совместимыми. Это обусловлено следующими причинами: поддержка таких технологий всеми интернет-браузерами, а также тем, что они используются для представления более 80% видеоданных в мультимедийных базах данных.

Данные технологии строятся на основе двух концептуальных механизмов, а именно:

1) механизмов, содержащих этапы предварительной обработки, направленной на формирование такого промежуточного преобразования изображений, для которого существует возможность выявления психовизуальных закономерностей относительно восприятия изображений зрительной системой;

2) механизмов, содержащих этапы, обеспечивающие непосредственное формирование кодовых конструкций сжатого представления с учетом выявленных закономерностей статистической и психовизуальной природы.

Рассмотрим механизмы первой концептуальной составляющей.

Работа метода начинается с преобразования цветовой модели RGB, в цветовую модель YCbCr. Здесь Y – luminance, Cb – Chrominance-blue, Cr – Chrominance-red, что в переводе «Яркость – Цветность синего – Цветность красного». Такое преобразование обусловлено тем, что:

- для изображения в соответствии с моделью RGB присуща большая избыточность;

- каждая цветовая составляющая вносит равнозначный информационный вклад и характеризуется яркостью (интенсивностью), которая может принимать 256 дискретных значений от 0 до 255.

В свою очередь переход к цветовой модели YCbCr позволяет выделить более важную информацию.

Для цветоразностной модели YCbCr учитывается тот факт, что человеческий глаз наиболее чув-

ствителен к изменению яркостной составляющей изображения, нежели к цветовым. Это позволяет для составляющих цветности выявить большее количество психовизуальной избыточности по сравнению с яркостной составляющей видеокладов. Искажения цветовых составляющих будут менее заметны при визуализации изображения, чем искажения яркостной составляющей. В результате создается потенциал для повышения степени сжатия и уменьшения интенсивности потока.

После чего механизм дифференцированной обработки заключается в субдискретизации цветовых составляющих C_b и C_r . Субдискретизация состоит в прореживании путем исключения каждой второй строки и столбца блока цветовой составляющей [2 – 4]. Этот этап обработки для базового кадра маркируется в спецификациях как необязательный. В тоже время, наличие такого этапа обеспечивает существенное сокращение объема базового кадра.

На очередном этапе процесса обработки базового кадра осуществляется процесс дискретного косинусного преобразования (ДКП). Данный этап осуществляется для каждого блока, размером 8×8 пикселей [3 – 6]. В результате такой трансформации достигается переход от пространственного представления изображения к его спектральному представлению. Такое трансформирование позволяет перераспределить энергию исходного блока базового кадра. При этом формируется трансформанта, для которой основная информация об изображении концентрируется в левом верхнем углу. Здесь наиболее весомая компонента, соответствующая самой низкой частоте, маркируется по спецификациям как DC-компонента. Все остальные компоненты – это высокочастотные компоненты. Они маркируются как AC-компоненты. В них содержится незначительная информация об изображении. Таким образом, ДКП создает условия для выявления и устранения психовизуальной избыточности путем специальной обработки компонент трансформант.

Такая обработка организуется на следующем этапе компрессии базового кадра. Данный этап связан с квантизацией компонент трансформант. Согласно спецификаций технологий MPEG для каждой составляющей Y , C_b , C_r задается своя матрица квантизации. Квантизация заключается в поэлементном делении компонент трансформанты $u''_{i,j}$ на соответствующие коэффициенты $\theta_{i,j}$ матрицы квантизации. Здесь осуществляется исключение психовизуальной избыточности, и вносятся наибольшие искажения. Для квантизации можно использовать два подхода. Первый подход тогда, когда используется таблица квантизации, принятая по умолчанию. Второй подход тогда, когда таблица

коэффициентов квантования вычисляется по формуле

$$\theta_{i,j} = 1 + ((1 + (i-1)) + (j-1)) \times R.$$

Здесь R – шаг квантизации.

Рассмотрим второй блок этапов концептуальной составляющей процесса обработки базового кадра. Данные этапы образуют стратегию непосредственного кодирования квантизированной трансформанты базовых кадров.

Для снижения искажений в базовом кадре для формирования стратегий обработки используются методы без потерь информации. Это позволяет создать условия для полного или контролируемого сохранения качества базовых кадров после их реконструкции. Соответственно полное сохранение достоверности базовых кадров достигается для спецификации исключаяющей использование этапа квантизации. Классификация методов данного класса приводится на рис. 3.

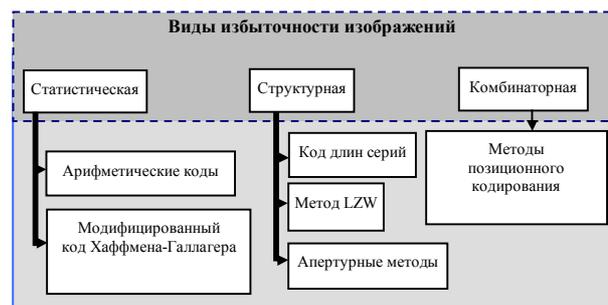


Рис. 3. Классификация базовых методов для технологий снижения интенсивности кодового представления базовых кадров без потерь информации

Методы без потери качества выполняют обработку данных без учёта психовизуальной избыточности. К данным методам обработки видеоданных относятся: кодирование Хаффмана, арифметическое кодирование, кодирование длин серий RLE, метод словарного кодирования LZW. Степень сжатия, достигаемая этими методами не более 1,5 – 2 раза. Данные методы лежат в основе таких форматов как: PNG, BMP, GIF, TIFF, JPEG-lossless [3 – 6].

Поэтому для дополнительного повышения степени сжатия и снижения интенсивности видеопотока стратегии и алгоритмы кодирования квантизированной трансформанты I-кадра строятся с учетом таких свойств как:

1) концентрация основной энергии исходного сигнала в ограниченном количестве низкочастотных компонент трансформанты;

2) выделение области высокочастотных компонент, несущих информацию о мелких деталях изображений, и потому оказывающих менее значимое влияние на визуальное восприятие изображений, чем низкочастотные компоненты;

3) появление компонент трансформанты с нулевыми значениями, особая концентрация которых велика для зигзагообразного обхода в диагональном направлении в области высокочастотных компонент.

Схема базового кодера базовых кадров технологии MPEG приведена на рис. 4.

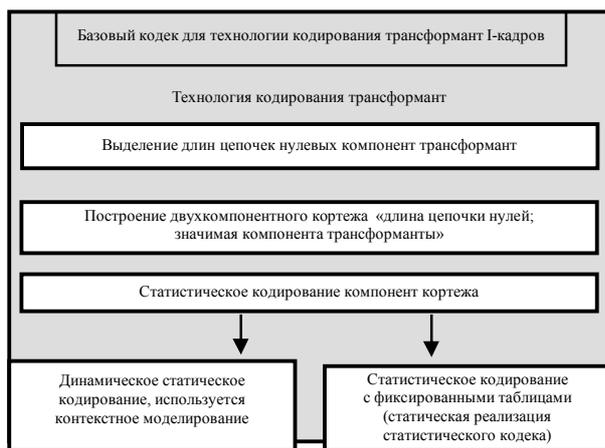


Рис. 4. Базовый кодек для кодирования трансформант I-кадров

Данный кодек содержит в себе следующие этапы.

Первый этап состоит в переформатировании квантизированной трансформанты в одномерный массив компонент, с помощью "зигзаг-сканирования". В результате такого перетрансформирования трансформанты образуется линейный вектор, характеризующийся тем, что:

- вначале вектора находится низкочастотная компонента DC, все последующие высокочастотные компоненты AC;
- выявляются наиболее длинные серии нулевых компонент AC;
- создается возможность для замены последней нулевой серии компонент AC специальным кодом, обозначающим конец блока (КБ).

Второй этап кодера связан с формированием двухкомпонентных кортежей. Здесь под двухкомпонентным кортежем понимается следующая комбинация «длина цепочки нулей; значимая компонента трансформанты». Для формирования таких комбинаций используется алгоритм выявления длин серий RLE.

На третьем осуществляется статистическое кодирование. Здесь используется технология кодов

Хаффмана с динамическими или статическими моделями выявления статистических характеристик.

Основная идея технологии кодирования Хаффмана заключается в кодировании отдельных символов битовыми строками различной длины, причем наиболее часто встречающиеся символы кодируются строками наименьшей длины. Это значит, что элементу, который встречается чаще всего, присваивается наименьшая длина кода, а элементу с наименьшей частотой повторений присваивается более длинный код. Затем на основании статистических данных строится таблица кодов.

На практике используются разновидности реализации алгоритма Хаффмана. В одних случаях используются фиксированные кодовые таблицы, в других, кодовая таблица строится на основании статистического анализа имеющихся данных. Фиксированные кодовые таблицы позволяют сократить время обработки. Коды Хаффмана являются префиксными кодами, что позволяет из непрерывного потока бит однозначно их декодировать. Как вариант вместо кодирования Хаффмана может применяться арифметическое кодирование.

Стандартизированная технология кодирования базовых кадров имеет следующие достоинства:

1. Сокращается задержка на выявление закономерностей и кодирование данных.
2. Повышается степень интегрированности относительно битовой структуры, а, следовательно, увеличивается количество потенциально устраняемой избыточности.
3. Существует возможность выбора соотношения между степенью сжатия и качеством изображения.
4. Достигается высокая степень сжатия для слабонасыщенных изображений в режиме внесения существенных искажений.

5. Обеспечивается простота и высокая скорость работы при кодировании данных в условиях высокого уровня квантизации.

В тоже время существующим технологиям обработки базовых кадров свойственны недостатки. Влияние таких недостатков на эффективность компрессии базовых кадров представляет отдельный интерес.

Выводы

1. Обосновано наличие дисбаланса между интенсивностью видеопотока и пропускной способностью сети. Проведенная оценка значений интенсивности видеопотока выявила следующее. Во-первых, интенсивность видеопотока, который требуется доставлять за одну секунду превышает реальную пропускную способность беспроводных технологий,

для которых скорость передачи принимает значения 2 – 4 Мбит/с. В случае использования кадра формата HD (1280x720) дисбаланс между интенсивностью и скоростью передачи по сети будет расти. Во-вторых, вклад интенсивности кодового представления базового кадра в суммарную интенсивность видеопотока в зависимости от качества визуальной реконструкции кадров изменяется от 50 до 75 %. При этом вклад базового кадра в общую интенсивность компрессионного представления возрастает с увеличением качества реконструкции видеопотока. Это указывает на значимое влияние интенсивности базового кадра на суммарную интенсивность видеопотока.

2. Показана необходимость построения стратегии и алгоритма кодирования квантизированной трансформанты I-кадра для дополнительного снижения интенсивности видеопотока с учетом использования таких свойств как: концентрация основной энергии исходного сигнала в ограниченном количестве низкочастотных компонент трансформанты; выделение области высокочастотных компонент, несущих информацию о мелких деталях изображений, и потому оказывающих менее значимое влияние на визуальное восприятие изображений, чем низкочастотные компоненты; появление компонент трансформанты с нулевыми значениями, особая концентрация которых велика для зигзагообразного обхода в диагональном направлении в области высокочастотных компонент.

3. Разработана технологическая концепция обработки базовых кадров для снижения интенсивности кодового представления на MPEG-платформе, которая базируется на совершенствовании механизмов, содержащих этапы, обеспечивающие непосредственное формирование кодовых конструкций сжатого представления с учетом выявленных закономерностей статистической и психовизуальной природы.

Для формирования новых механизмов процесса обработки базовых кадров учитывается их ключевое влияние на эффективность функционирования технологии компрессии всего потока видеокадров, а именно то, что:

1) несут важную информацию о группе кадров. От достоверности семантического содержания базового кадра I-типа зависит достоверность реконструкции кадров P-типа и B-типа. В противном случае, искажения будут размножаться на всю группу кадров;

2) в режиме компрессии с высоким качеством, сжатый объем базового кадра вносит наиболее существенный вклад в суммарную интенсивность всего потока видеокадров.

Литература

1. *Track to the future: Spatio-temporal video segmentation with long-range motion cues [Text] / J. Lezama, K. Alahari, J. Sivic, I. Laptev // In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2011. – P. 256 – 289.*

2. *A method for traffic sign detection in an image with learning from synthetic data [Text] / A. Chigorin, G. Krivoviyaz, A. Velizhev, A. Konushin // 14th International Conference Digital Signal Processing and its Applications. – 2012. – Vol. 2. – P. 316 – 335.*

3. Красильников, Н. Н. *Цифровая обработка изображений [Текст] / Н. Н. Красильников. – М. : Увузовская книга, 2011. – 320 с.*

4. Баранник, В. В. *Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах [Текст] / В. В. Баранник, В. П. Поляков. – Х. : ХУПС, 2010. – 234 с.*

5. Баранник, В. В. *Метод повышения доступности видеоинформации аэромониторинга [Текст] / В. В. Баранник, С. В. Туренко, О. С. Кулица // Радіелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 3. – С. 31 – 36.*

6. Barannik, V. *Method Of Encoding Transformant Uolsha Is In Systems Air Monitoring Of Earth [Text] / V. Barannik, A. Yakovenko, A. Krasnorutkiy // Lviv-Slavsko, Ukraine, Lviv Polytechnic National University, International Conference TCSET'2009, Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, February 19 – 23, 2009. – P. 381–383.*

Поступила в редакцию 9.10.2014, рассмотрена на редколлегии 18.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой сети связи В. М. Безрук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ТЕХНОЛОГІЧНА КОНЦЕПЦІЯ ОБРОБКИ БАЗОВИХ КАДРІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОДОВОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ*В. В. Бараннік, О. Ю. Отман Шаді, І. О. Іванченко*

Обґрунтовано наявність дисбалансу між інтенсивністю відеопотоку і пропускнуою спроможністю мережі. Виявлено переваги стандартизованої технології кодування базових кадрів, а саме те, що: скорочується затримка на виявлення закономірностей і кодування даних; існує можливість вибору співвідношення між ступенем стиснення і якістю зображення. Показано необхідність побудови стратегії і алгоритму кодування квантової трансформанти базового кадру з урахуванням використання таких властивостей як: концентрація основної енергії вихідного сигналу в обмеженій кількості низькочастотних компонент трансформанти; виділення області високочастотних компонент, що несуть інформацію про дрібні деталі зображень; наявність компонент трансформанти з нульовими значеннями. Розробляється технологічна концепція обробки базових кадрів для зниження інтенсивності кодового представлення на MPEG-платформі, яка базується на вдосконаленні механізмів, що містять етапи, що забезпечують безпосереднє формування кодових конструкцій стисненого представлення з урахуванням виявлених закономірностей статистичної та психовізуальної природи.

Ключові слова: інтенсивність відеопотоку, кодові конструкції, базові кадри, стиск кадру.

TECHNOLOGICAL CONCEPTS OF PROCESSING BASE FRAME TO REDUCE THE INTENSITY CODE REPRESENTATION*V. V. Barannik, O. Yo. Othman Shadi, I. O. Ivanchenko*

The presence of an imbalance between the intensity of the video stream and network bandwidth is proved. Advantages of standardized coding technology for base frame are identified, namely that: reduces delay on patterns identification and data encoding; there is a possibility for selecting the ratio between compression ratio and image quality. Shows the Need for constructing strategy and algorithm coding of the quantized transformants of the base frames with using such features as: the concentration of the main energy source of the signal in a limited number of low-frequency component of the transformants; selection frequency components region, which carry information about details; existing component transforms with zero values is shown. Technological conception of processing for base frame for reducing the intensity of the code submission on the MPEG-platform, which is based on the improvement of mechanisms comprising the steps, which provide the direct formation of a code compressed representation designed based on identified patterns of statistical and psycho visual nature, is designed.

Keywords: the intensity of the video stream, the code designs, base frames, frames compression.

Бараннік Володимир Вікторович – д-р техн. наук, професор, начальник кафедри автоматизированных систем управления, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

Отман Шаді О. Ю. – соискатель, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

Іванченко Ігорь Олегович – магистр Харьковского университета Воздушных Сил.