

**МЕТОД СИНТАКСИЧЕСКОГО
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО
СТРУКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА
ТРАНСФОРМАНТЫ ДЛЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКА**
БАРАННИК В.В., ТАРАСЕНКО Д.А.

Обосновывается наличие дисбаланса между информационной интенсивностью видеопотока и производительностью бортовых инфокоммуникационных технологий. Выявляются недостатки стандартизированной информационной технологии кодирования потока кадров. Показывается необходимость построения метода эффективного синтаксического кодирования предсказанных кадров в уплотненном двумерном структурном спектральном пространстве трансформанты с последующей их идентификацией по координатным объектам. Излагаются этапы разработки технологического ядра эффективного синтаксического представления сегмента видеокadra.

Ключевые слова: синтаксическое кодирование, видеопоток, объектно-позиционное кодирование, пропускная способность, информационная интенсивность.

Keywords: Syntactic coding, video stream, object-positional coding, bandwidth, information intensity.

1. Введение

Информационные системы и технологии за последнее десятилетие подвергаются коренным изменениям. Основная причина здесь заключается в стремлении повышать эффективность мультимедийных сервисов, уровень их интеллектуализации, качество обмена информацией. При этом такая тенденция проявляется для ведомственных организаций, коммерческих компаний и частных лиц [1 – 5]. Большое значение приобретают дистанционные технологии предоставления различных сервисов, включая сбор, интеллектуальный анализ и передачу информации [2, 3]. Это способствует развитию бортовых инфокоммуникационных технологий, которые в перспективе должны обеспечить скорости передачи данных до 1 Гбит/с в зависимости от класса бортовых средств. Это обеспечивает потенциал для использования дистанционных технологий воздушного базирования для различного набора услуг, связанных с обработкой, анализом и передачей данных, а также видеoinформационных услуг. По данным ежегодных исследований, проводимых компанией Cisco, характерной чертой существующих сетей и бортовых

сетей следующего поколения является рост их использования для доставки видеoinформационного трафика. Такая тенденция неизбежно приводит к росту нагрузки на инфокоммуникационные системы [5 – 7]. Поэтому снижение интенсивности кодированного потока видеокadров в информационных системах (ИС) для повышения качества видеoinформационного сервиса является *актуальной научно-прикладной задачей*. В этом направлении требуется достичь баланса между постоянно растущей информационной интенсивностью и ограниченной пропускной способностью беспроводных инфокоммуникационных технологий в условиях сохранения требуемого уровня целостности информации.

2. Обоснование совершенствования бортовых информационных технологий кодирования видеопотока

Стандартными информационными технологиями для обработки видеопотоков являются MPEG-технологии, которые базируются на кадровой классификации с последующей их обработкой JPEG совместимыми платформами [7 – 10]. Базовой структурой единицей MPEG-потока является группа кадров, которая включает в себя: *I* кадр (Intra); предсказываемые *P* кадры (Predicted); *B* кадры двунаправленного предсказания (Bidirectional) [11]. Всего в такой группе по спецификации может быть 12 кадров. Среди них один базовый кадр, который кодируется независимо от других кадров. Остальные кадры формируются с использованием информации относительно базового кадра. Соответствующая усредненная оценка интенсивностей для различных типов кадров в зависимости от пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ) показана в виде диаграмм на рисунке. В качестве структуры кадра выбирался формат 4CIF (720x576) [2 – 4].

Из анализа данных диаграмм видно, что усредненная информационная интенсивность базового кадра превышает интенсивность битового представления предсказываемых кадров. Это обусловлено тем, что для обеспечения баланса между уровнем информационной интенсивности и целостностью информации наиболее важным является сохранение контента для базового кадра [12 – 17]. Платой за такое свойство является рост

информационной интенсивности базового кадра. В то же время до 80% суммарной интенсивности группы кадров в режиме требуемого уровня целостности информации приходится на предсказываемые кадры [16; 17]. Это объясняется их преобладающим количеством в группе кадров. При этом интенсивность потока кадров значительно превышает имеющиеся возможности по производительности современных бортовых инфокоммуникационных технологий, особенно касательно приложений высокой разрешающей способности [18 – 20].

В целях обновления информационных технологий кодирования видеопотока для снижения его информационной интенсивности *предлагается* разработать метод эффективного синтаксического представления предсказанных кадров, что и составляет *цель исследований* данной работы.

3. Основное содержание исследования

Информационные технологии снижения интенсивности видеопотока, базирующиеся на MPEG-платформе, поддерживают комплекс рекомендаций относительно использования методов кодирования предсказанных кадров. Стандартизированные методы обработки базовых кадров являются JPEG-совместимыми. Данные технологии строятся на основе двух концептуальных механизмов, а именно [20 – 24]:

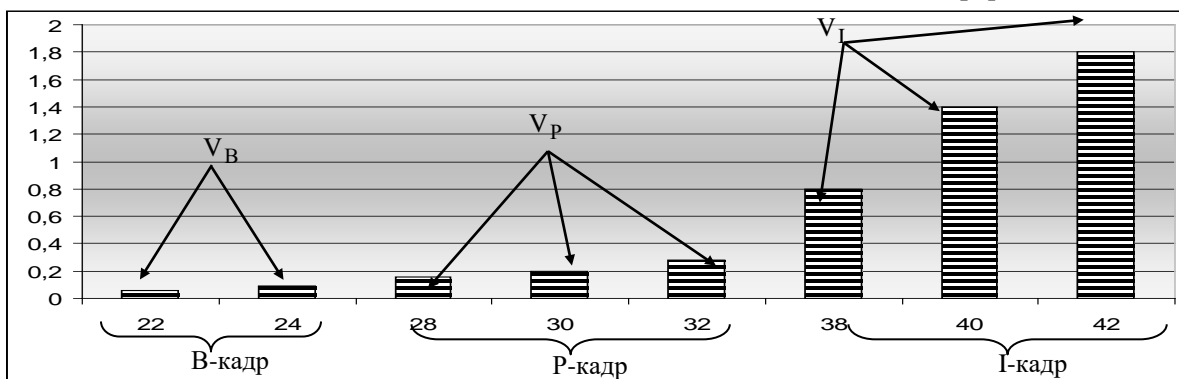
1) механизмов, содержащих этапы предварительной обработки, направленной на формирование такого промежуточного преобразования изображений, для которого существует возможность выявления психовизуальных закономерностей относительно восприятия изображений зрительной системой;

2) механизмов, содержащих этапы, которые обеспечивают непосредственное формирование кодовых конструкций эффективного синтаксического представления с учетом выявленных закономерностей статистической и психовизуальной природы. Рассмотрим механизмы первой концептуальной составляющей, базирующиеся на переходе к цветоразностной модели, что позволяет выделить важную информацию [18 – 24]. В результате создается потенциал для снижения информационной интенсивности в условиях допустимых коррекций в согласовании с моделью восприятия видеокадров зрительной системой.

На очередном этапе процесса обработки предсказанных кадров осуществляется процесс дискретного косинусного преобразования (ДКП). При этом формируется трансформанта, для которой основная информация об изображении концентрируется для низкочастотной области. Здесь наиболее весомая компонента, соответствующая самой низкой частоте, маркируется по спецификациям как DC-компонента. Все остальные компоненты – высокочастотные. Они маркируются как AC-компоненты. Здесь создаются условия для выявления и устранения различных видов избыточности путем соответствующей обработки компонент трансформант.

Такая обработка организуется с использованием квантования высокочастотных компонент трансформант.

Рассмотрим второй блок этапов концептуальной составляющей информационной технологии обработки предсказанных кадров [25 – 28]. Для дополнительного снижения информационной интенсив-



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

ности видеопотока методы кодирования трансформанты строятся с учетом таких свойств:

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

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

Кодек базовых кадров информационной технологии на базе MPEG платформы 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 и выявляются цепочки незначимых компонент АС.

Второй этап кодека связан с формированием уплотненного двумерного структурного спектрального пространства (ДСП) трансформанты. Здесь образуются дискретные позиции p_u ДСП в системе двумерных координат $\{L; Z\}$ соответственно для значений $\ell(\tau; \delta)_u$ - по оси длин незначимых компонент спектра и $z(\tau; \delta)_u$ - по оси значимых компонент спектра.

На третьем этапе осуществляется статистическое кодирование. Здесь используется технология кодирования с динамическими или статическими моделями выявления статистических характеристик. Однако существующим технологиям обработки базовых кадров свойственны проблемные недостатки [26 – 28].

4. Разработка технологии эффективного синтаксического кодирования видеокадров на основе адаптивного объектно-позиционного кодирования идентификаторов ДСП пространства

Для создания эффективного синтаксического представления последовательности $I(\tau; \delta)$ идентификаторов координатных объектов ДСП необходимо оценить наличие соответствующих закономерностей [25 – 28].

Первая структурная закономерность вытекает из особенностей формирования идентификаторов.

Она состоит из ограничений на допустимое количество $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ значений, которые принимает идентификатор для координатного объекта в условиях выявленных пороговых уровней для динамического количества значений $d(\ell; \delta)_\tau$ и $d(z; \delta)_\tau - 1$, которое соответственно принимают элементы векторов L и Z трансформанты. Величина $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ определяется как максимально возможное значение идентификатора $I(\tau; \delta)_u$ для выявленных значений $d(\ell; \delta)_\tau$ и $d(z; \delta)_\tau - 1$. Если теперь заменить величины $\ell(\tau; \delta)_u$ и $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$ на их предельные значения с учетом того, что $\ell(\tau; \delta)_u \in [0; d(\ell; \delta)_\tau - 1]$ и $z(\tau; \delta)_u \in [1; d(z; \delta)_\tau - 1]$, то получим следующее соотношение для $Q(\tilde{p}_u; \delta)$:

$$Q(\tilde{p}_u; \delta) = d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1). \quad (1)$$

Анализ данного выражения показывает, что величина $Q(\tilde{p}_u; \delta)$:

- определяется произведением $d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)$, т.е. зависит от структурных характеристик обрабатываемого сегмента видеокадра. Очевидно, чем меньше структурной информативности содержится в сегменте, тем ниже будет значение $Q(\tilde{p}_u; \delta)$;

- не зависит от позиции координатного объекта в уплотненном ДСП.

В то же время, поскольку по определению величины $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ выполняется неравенство $I(\tau; \delta)_u \leq Q(\tilde{p}_u; \delta) - 1$, задающее ограничение на значение идентификаторов, то будет верно следующее соотношение:

$$I(\tau; \delta)_u \leq d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1), \quad u = \overline{2, U-1}. \quad (2)$$

Вторая структурная закономерность обусловлена свойством координатных объектов \tilde{p}_u перетрансформированного ДСП. Такое свойство состоит в том, что значения координатных составляющих по осям L и Z имеют градиентную однонаправленность, а именно увеличение значения $\ell(\tau; \delta)_u$ длины цепочки незначимых компонент согласовывается с ростом значимой компоненты $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$. Тогда значения идентификаторов координатных объектов будут иметь тенденцию (градиентную направленность) увеличения с ростом индекса u позиции в уплотненном ДСП. Кроме того, значения координатных составляющих $\ell(\tau; \delta)_u$ и $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$ отличаются характерной

неравномерностью распределения и нелинейностью изменений по осям L и Z . Это свойство координатных объектов создает условия относительно тенденции гибкого неравенства парных идентификаторов.

Под парными здесь понимаются идентификаторы на соседних позициях в векторе $I(\tau; \delta)$, например, u -я пара запишется следующим образом: $\{I(\tau; \delta)_u; I(\tau; \delta)_{u+1}\}$, $u = \overline{2, U-2}$. Наличие неравных парных идентификаторов не является жестким. Поэтому для вероятности возникновения таких событий предлагается ограничиться рассмотрением только соседних идентификаторов. Соответственно понятие гибкости неравенства парных идентификаторов *предлагается* вводить в связи с тем, что возможны случаи, когда значения парных идентификаторов будут одинаковыми. Тогда чтобы пометить пары идентификаторов в векторе $I(\tau; \delta)$, для которых выполняется условие

$$I(\tau; \delta)_\gamma = I(\tau; \delta)_\xi,$$

где $\gamma \neq \xi$, $\gamma = \overline{2, U-1}$, $\xi = \overline{2, U-1}$, *предлагается* вводить дополнительный вектор, характеризующий условие неравенства пар идентификаторов – синдром $S(\tau; \delta)$ объектно-позиционного числа. Элементы $s(\tau; \delta)_u$ такого синдрома будут принимать двоичные значения, $s(\tau; \delta)_u \in [0; 1]$, исходя из условий, заданных следующей системой формул:

$$s(\tau; \delta)_u = \begin{cases} 0 \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}; \\ 1 \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}. \end{cases}$$

Введение синдрома $S(\tau; \delta)$ позволяет при разработке технологии эффективного синтаксического кодирования вектора идентификаторов ДСП рассматривать последовательность $I(\tau; \delta)$ в условиях жесткого неравенства между парами ее компонент, т.е. $I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}$, для $u = \overline{2, U-1}$. Остальные случаи будут помечены соответствующим значением элемента $s(\tau; \delta)_u$ синдрома.

В этом случае вектор $I(\tau; \delta)$ идентификаторов без учета ограничений будет заменяться двумя векторами, а именно вектором $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условиях наложения ограничений на неравенство парных элементов и соответствующим синдромом $S(\tau; \delta)$, т.е.:

$$I(\tau; \delta) \xrightarrow{\varphi_s} \{ \hat{I}(\tau; \delta); S(\tau; \delta) \},$$

где φ_s – функционал выявления условия неравенства для смежных (парных) идентификаторов. Это позволяет дать следующую интерпретацию последовательности $\hat{I}(\tau; \delta)$.

Определение. Вектор $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условиях наложения ограничений на неравенство парных элементов называется *одномерным объектно-позиционным числом с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$, для элементов которого выполняется условие гибкого неравенства (с синдромом парного неравенства $S(\tau; \delta)$)*.

Рассмотрим теперь разработку процесса эффективного синтаксического кодирования вектора идентификатора ДСП с учетом дополнительного использования синдрома $S(\tau; \delta)$ объектно-позиционного числа в условиях гибкого неравенства его парных элементов.

Условие неравенства парных идентификаторов проявляется в выполнении следующих ограничений на их значения, а именно:

– значение первого идентификатора $\hat{I}(\tau; \delta)_1$ будет ограничено величиной $(d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 1$, т.е.:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_1 \leq (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 1;$$

– значения всех последующих идентификаторов $\hat{I}(\tau; \delta)_u$, $u = \overline{2, U-2}$ будут ограничены величиной $(d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 2$, а именно:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_u \leq (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 2, \text{ для } u = \overline{2, U-2}.$$

Формирование системы выражений для эффективного синтаксического кодирования вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ предлагается организовывать такими этапами.

Первый этап состоит в определении кодового значения $E(\tau; \delta)$ для вектора $I(\tau; \delta)$ с учетом ограничения, заданного выражением (2), но без учета условия парного неравенства идентификаторов. Поэтому данный этап связан с проведением *одномерного объектно-позиционного кодирования с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$* .

Второй этап процесса построения эффективного синтаксического представления заключается в рассмотрении вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$, т.е. на данном этапе дополнительно будет учитываться условие жесткого неравенства между всеми смежными идентификаторами. Такой процесс образует *одномерное объектно-позиционное кодирование с основани-*

ем $Q(\tilde{p}_u; \delta)$, для элементов которого выполняется условие неравенства.

Третий этап процесса построения эффективного синтаксического представления заключается в рассмотрении совокупности $\{\hat{I}(\tau; \delta); S(\tau; \delta)\}$ векторов $\hat{I}(\tau; \delta)$ и $S(\tau; \delta)$. Данный этап дополнительно учитывает условие гибкого неравенства между смежными идентификаторами, т.е. дополнительно используется информация о синдроме $S(\tau; \delta)$. Соответственно процесс кодирования на третьем этапе формирует **одномерное объектно-позиционное кодирование с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$, для элементов которого выполняется условие гибкого неравенства.**

Рассмотрим **первый этап** процесса эффективного синтаксического кодирования - одномерное объектно-позиционное кодирование с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$. Здесь кодовое значение $E(\tau; \delta)$ для вектора $I(\tau; \delta)$ идентификаторов формируется с учетом их позиционности и ограниченности по диапазону величиной $Q(\tilde{p}_u; \delta)$. Тогда соответствующее выражение задается следующим образом:

$$E(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} I(\tau; \delta)_u Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1},$$

где $Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1}$ - весовой коэффициент u -го элемента $I(\tau; \delta)_u$ одномерного объектно-позиционного числа с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$.

Величина $Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1}$ равна количеству допустимых комбинаций, которое можно составить из $(U-u-1)$ идентификаторов вектора $I(\tau; \delta)$, исключая идентификаторы, которые находятся на старших позициях относительно позиции $(u-1)$. Такое количество определяется величиной $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ спецификации как ограничение на количество допустимых значений идентификаторов. Соответственно весовой коэффициент $Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1}$ в условиях одномерной позиционности с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ определяется с учетом соотношения (1) по такой формуле:

$$Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1} = (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{U-u-1}.$$

Отсюда выражение для величины $E(\tau; \delta)$ примет следующий вид:

$$E(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} I(\tau; \delta)_u (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{U-u-1}.$$

Полученное соотношение задает процесс одномерного объектно-позиционного кодирования с одним основанием и обеспечивает формирование кодового значения $E(\tau; \delta)$ для вектора $I(\tau; \delta)$ идентификаторов без учета неравенства парных элементов.

Рассмотри **второй этап** построения эффективного синтаксического представления трансформанты - одномерное объектно-позиционное кодирование с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ в условии жесткого неравенства для всех парных идентификаторов. Здесь будет кодироваться последовательность $\hat{I}(\tau; \delta)$ с учетом пар $\{\hat{I}(\tau; \delta)_u; \hat{I}(\tau; \delta)_{u+1}\}$ идентификаторов, для которых выполняется условие $\hat{I}(\tau; \delta)_u \neq \hat{I}(\tau; \delta)_{u+1}$, $u = \overline{2, U-1}$. Базовое соотношение для формирования кодового значения $\hat{E}(\tau; \delta)$ вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ имеет такой вид:

$$\hat{E}(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} \hat{Q}(\hat{I}; \tau; \delta)_{U-u-1}.$$

Величина $\hat{Q}(\hat{I}; \tau; \delta)_{U-u-1}$ задает количество допустимых подпоследовательностей, которое составляет из $(U-u-1)$ идентификаторов, предшествующих подпоследовательности $\hat{I}(\tau; \delta; U-u)$, т.е. имеют меньшие кодовые значения, чем кодовое значение для подпоследовательности $\hat{I}(\tau; \delta; U-u)$.

Далее для упрощения выражений введем вспомогательную величину $\theta(\tau; \delta)_u$. Она связывается с величинами $\hat{I}(\tau; \delta)_u$ на основе следующей системы формул:

$$\theta(\tau; \delta)_u = \begin{cases} \hat{I}(\tau; \delta)_u, & \rightarrow \hat{I}(\tau; \delta)_u < \hat{I}(\tau; \delta)_{u-1}; \\ \hat{I}(\tau; \delta)_u - 1, & \rightarrow \hat{I}(\tau; \delta)_u > \hat{I}(\tau; \delta)_{u-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда соотношение для определения кодового значения $\hat{E}(\tau; \delta)$ вектора идентификаторов $\hat{I}(\tau; \delta)$ в условии жесткого неравенства всех парных элементов будет задаваться следующим образом:

$$\hat{E}(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} \theta(\tau; \delta)_u ((d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{U-u-1}) \quad (4)$$

Для использования данного выражения в процессе кодирования необходимо определиться с начальными параметрами. При этом нужно учитывать, что для значения первого идентификатора $\hat{I}(\tau; \delta)_2$ в

векторе $\hat{I}(\tau; \delta)$ должны выполняться следующие условия:

- на значение идентификаторов, предшествующих идентификатору $\hat{I}(\tau; \delta)_2$, не накладываются ограничения относительно нулевого элемента, т.е. не должно выполняться неравенство $\hat{I}(\tau; \delta)_{u-1} < \hat{I}(\tau; \delta)_u$;
- должно обеспечиваться выполнение такого неравенства:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_0 = (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) > \hat{I}(\tau; \delta)_2.$$

Следовательно, предлагается для идентификатора $\hat{I}(\tau; \delta)_2$ в качестве предшествующего элемента $\hat{I}(\tau; \delta)_0$ выбирать значение $(d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))$, равное количеству допустимых значений идентификаторов для вектора $I(\tau; \delta)$, т.е. равное значению основания $Q(\tilde{p}_u; \delta)$:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_0 = Q(\tilde{p}_u; \delta). \quad (5)$$

Система выражений (3) – (5) обеспечивает формирование кодового значения для вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условии жесткого неравенства всех парных элементов.

В то же время условие неравенства парных идентификаторов является гибким. Следовательно, возможны случаи, когда между смежными идентификаторами будет выполняться равенство, т.е. $I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}$. Это повлечет за собой изменение величины $\hat{Q}(\hat{I}; \tau; \delta; \hat{I}(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u-1})_{U-u-1}$, позиционируемой как количество запрещенных подпоследовательностей для вектора идентификаторов. Соответственно произойдет нарушение созданной системы кодирования. Для исключения данного недостатка строится третий этап разработки технологии эффективного кодирования.

Третий этап формирования эффективного синтаксического представления. Для коррекции выявленных недостатков второго этапа обработки, т.е. учета условий равенства $I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}$, **предлагается** интегрировать в кодообразующую систему вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов синдром $S(\tau; \delta)$ объектно-позиционного числа. Соответственно идентификатор $\hat{I}(\tau; \delta)_u$ будет интерпретироваться как элемент одномерного объектно-позиционного числа с одним основанием в условиях неравенства парных элементов.

Фактически учет гибкости условия неравенства парных элементов приводит к образованию **одномерного двухосновного объектно-позиционного числа с учетом гибкости условия неравенства смежных элементов, т.е. с учетом синдрома.**

Определение. Вектор $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условиях наложения гибких ограничений на неравенство парных элементов называется **одномерным двухосновным объектно-позиционным числом с системой $\{Q(\tilde{p}_u; \delta); \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta)\}$, для элементов которого выполняется условие гибкого неравенства (с синдромом парного неравенства $S(\tau; \delta)$).**

Двухосновная система записывается как $\{Q(\tilde{p}_u; \delta); \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta)\}$. Для учета такой особенности в процессе эффективного кодирования **предлагается** ввести вспомогательную величину $Q(s(\tau; \delta)_u)$, характеризующую основание обрабатываемого идентификатора в условиях синдрома, а именно:

$$Q(s(\tau; \delta)_u) = \begin{cases} \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 0; \\ Q(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 1. \end{cases}$$

Обозначим теперь величинами v_u и \hat{v}_u количество идентификаторов, оставшихся не обработанными на U -м шаге кодирования и соответственно для которых выполняется условие равенства, т.е. $s(\tau; \delta)_u = 1$, и выполняется условие неравенства, т.е. $s(\tau; \delta)_u = 0$. При этом для u -го шага кодирования выполняется равенство:

$$v_u + \hat{v}_u = U - u - 1.$$

Тогда весовой коэффициент $Q'(s; \tau; \delta)_{U-u-1}$ вспомогательного элемента $\theta'(\tau; \delta)_u$ с дополнительным учетом информации о величине $s(\tau; \delta)_u$ будет равен:

$Q'(s; \tau; \delta)_{U-u-1} = Q(s(\tau; \delta)_u)^{U-u-1} = Q(\tilde{p}_u; \delta)^{v_u} \cdot \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta)^{\hat{v}_u}$
 С учетом введенных технологических коррекций система соотношений для **одномерного двухосновного объектно-позиционного кодирования в условиях гибкого неравенства парных элементов** примет следующий вид:

$$\hat{E}(s; \tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} \theta'(\tau; \delta)_u \cdot (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{v_u} \times \quad (6) \\ \times ((d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 1)^{\hat{v}_u};$$

$$\theta'(\tau; \delta)_u = \begin{cases} \theta(\tau; \delta)_u, & \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}; \\ I(\tau; \delta)_u, & \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}; \end{cases} \quad (7)$$

$$Q(s(\tau; \delta)_u) = \begin{cases} \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 0; \\ \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $\hat{E}(s; \tau; \delta)$ – кодовое значение одномерного двухосновного объектно-позиционного числа в условиях гибкого неравенства парных элементов, т.е. с учетом синдрома $S(\tau; \delta)$.

Таким образом, система соотношений (6) – (8) образует технологическое ядро эффективного синтаксического представления сегмента видеокадра на основе формирования уплотненного двумерного спектрального структурного пространства с последующим одномерным двухосновным объектно-позиционным кодированием в пространстве идентификаторов в условиях гибкого неравенства парных элементов.

Дополнительное сокращение информационной интенсивности потока видеокадров без потери их целостности для такого представления достигается в результате устранения количества структурно-спектральной избыточности, обусловленной:

а) учетом закономерностей для вектора идентификаторов уплотненного ДСП, а именно:

– ограничение на допустимое количество $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ значений, которое принимает идентификатор для координатного объекта в условиях выявленных пороговых уровней для динамического количества значений $d(\ell; \delta)_\tau$ и $d(z; \delta)_\tau - 1$, которые соответственно принимают элементы векторов L и Z трансформанты;

– значения координатных составляющих по осям L и Z имеют градиентную однонаправленность, т.е. увеличение значения $\ell(\tau; \delta)_u$ длины цепочки незначимых компонент согласовывается с ростом значимой компоненты $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$;

б) исключением количества запрещенных вариантов генерирования векторов идентификаторов с учетом парного неравенства между их компонентами.

5. Выводы

1. Показано, что вектор идентификаторов интерпретируется как объектно-позиционное число с наличием гибкого условия относительно неравенства парных элементов. Такая интерпретация ос-

новывается на следующих структурных закономерностях вектора идентификаторов:

- существует ограничение на допустимое количество значений, которое принимает идентификатор для координатного объекта в условиях выявленных пороговых уровней для динамического количества значений, которое соответственно принимают элементы векторов двумерного структурного пространства трансформанты;

- значения координатных составляющих по осям двумерного структурного пространства трансформанты имеют градиентную однонаправленность, а именно увеличение значения длины цепочки незначимых компонент согласовывается с ростом значимой компоненты;

2. Разработано эффективное синтаксическое представление трансформанты на основе одномерного двухосновного объектно-позиционного кодирования в условиях гибкого неравенства парных элементов. Базовыми отличиями такого представления являются: рассмотрения вектора идентификаторов уплотненного ДСП как двухосновного объектно-позиционного числа с дополнительным использованием синдрома неравенства парных идентификаторов; интегрирование двух технологических коррекций относительно значений идентификаторов и их оснований;

3. Синтезирована система соотношений, образующая технологическое ядро эффективного синтаксического представления сегмента видеокадра на основе: формирования уплотненного двумерного спектрального структурного пространства с последующим одномерным двухосновным объектно-позиционным кодированием в пространстве идентификаторов в условиях гибкого неравенства парных элементов; классификации пар идентификаторов уплотненного ДСП по условию неравенства и результату сравнения монотонности.

Литература: 1. *Алімпієв А.М.* Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні / *А.М. Алімпієв, В.В. Бараннік, Т.В. Белікова, С.О. Сідченко* // Системи обробки інформації. 2017. № 4(150). С. 113-121. 2. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений: Конспект лекций. Красноярск : ИПК СФУ, 2008. 121 с. 3. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. / *В.Г. Олифер, Н.А. Олифер.* СПб.: Питер, 2006. 958 с. 4. *Шульгин С.С.* Исследование характеристик сервиса дистанцион-

ного предоставления видеослужб при управлении в кризисных ситуациях / С.С. Шульгин, А.А. Красноуцкой, О.С. Кулица // Открытые компьютерные информационные интегрированные технологии. 2015. №70. С. 263 – 270. **5.** Alimpiev A., Barannik V., Podlesny S., Suprun O. and Bekirov A. The video information resources integrity concept by using binomial slots // 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, 2017. P. 193-196. **6.** Gonzalez R. Digital image processing / R. Gonzalez, R. Woods. М.: Technosphere, 2005. 1072 p. **7.** Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. М.: Триумф, 2003. 336 с. **8.** Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. М.: ДИАЛОГ МИФИ, 2003. 384с. **9.** Tsai W. J. and Sun Y. C., "Error-resilient video coding using multiple reference frames," 2013 IEEE International Conference on Image Processing, Melbourne, VIC, 2013. P. 1875-1879. **10.** Лидовский В.В. Теория информации / В.В. Лидовский. М.: Компания Спутник+, 2004. 111 с. **11.** Хаханов В.И. Модели и архитектура вейвлет-преобразований для стандарта JPEG 2000 / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, И.А. Побеженко // АСУ и приборы автоматики. 2007. №2(139). С. 4 – 12. **12.** Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. М.: Вузовская книга, 2011. 320 с. **13.** Красноуцкой А.А. Метод арифметического классификационного кодирования трансформант Уолша / А.А. Красноуцкой, С.Я. Яценко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. Вып. 31. С. 138-141. **14.** Stankiewicz O., Wegner K., Karwowski D., Stankowski J., Klimaszewski K. and T. Grajek, "Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction," 2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Poznan, 2017. P. 1-6. **15.** Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang, S. Ma and W. Gao, "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, March 2017. **16.** Barannik V., Podlesny S., Krasnorutskiy A., Musienko A. and Himenko V., "The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action", 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, 2016. P. 1-5. **17.** Baccouch. H., Ageneau P. L., Tizon N. and N. Boukhatem, "Prioritized network coding scheme for multi-layer video streaming," 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2017. P. 802-809. **18.** Баранник В.В. Концептуальный метод повышения безопасности дистанционного видеoinформационного ресурса в системе аэромониторинга кризисных ситуаций на основе ин-

теллектуальной обработки видеокладов / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Радиоэлектронные компьютерные системы. 2015. № 3. С. 19 – 21. **19.** Оксюк А.Г. Анализ подходов к управлению скоростью передачи видеопотока / А.Г. Оксюк, Д.Э. Двухглазов, В.В. Твердохлеб / Сучасна спеціальна техніка. 2014. №2. С. 17 – 18. **20.** Zhang Y., Negahdaripour S. and Li Q. Error-resilient coding for underwater video transmission," OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7. **21.** Zheng B. and Gao S. "A soft-output error control method for wireless video transmission," 2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Beijing, 2016. P. 561-564. **22.** Гуржій П.Н. Адаптивне одноосновне позиційне кодування масивів довжин серій двійкових елементів / П.М. Гуржій, Ю.П. Бойко, В.Ф. Третьяк // Радіоелектроніка і інформатика. 2013. №2. С. 12 – 17. **23.** Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V., Abbas B.A.A. and Mandefro E.A., "Qubit model for solving the coverage problem," East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013), Rostov-on-Don, 2013. P. 1-4. **24.** Barannik V., Krasnorutskiy A., Ryabukha Y.N. and Okladnoy D.E. Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, 2016. P. 736-738. **25.** Баранник В.В. Метод селекции кадрового потока в системах критического аэромониторинга для повышения безопасности государственного информационного ресурса / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, С.С. Бульба // Авиационно-космическая техника и технологии. № 3. 2015. С. 111 – 118. **26.** Туренко С.В. Кодирование вектора двухкомпонентных кортежей для технологий компрессии с трансформированием кадров в инфокоммуникационных системах // Радиоэлектроника и информатика. 2013. №3. С. 10 – 13. **27.** Баранник В.В. Метод интеллектуальной обработки государственных видеoinформационных ресурсов для повышения их семантической целостности в системах мониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Захист інформації. №2. 2015. С. 125-134. **28.** Barannik V.V. Technology of integration of effective coding of the stream of video frames into processing system of dynamic video information resources / V.V. Barannik, S.S. Shulgin // Наукоємні технології. 2016. №3. С. 265 – 268.

Transliterated bibliography:

1. Allimpiev A.M. Teoretichni osnovi stvorenniya tehnologiy protidiv prihovanim informatsiyim atakam v suchasnyy gibridnyy viyni / A.M. Alimpiev, V.V. Barannik, T.V. Belikova, S.O. Sldchenko // Sistemi obrobki Informatsiyi. 2017. # 4(150). S. 113 121.

2. *Kashkin V.B.* Tsifrovaya obrabotka aerokosmicheskikh izobrazheniy: Konspekt lektsiy. Krasnoyarsk : IPK SFU, 2008. 121 s.
3. *Olifer V.G.* Kompyuternye seti. Printsipyi, tehnologii, protokolyi: Uchebnyk dlya vuzov. / *V.G. Olifer, N.A. Olifer.* SPb.: Piter, 2006. 958 s.
4. *Shulgin S.S.* Issledovanie harak-teristik servisa distantsionnogo predostavleniya vi-deouslug pri upravlenii v krizisnykh situatsiyah / *S.S. Shulgin, A.A. Krasnorutskiy, O.S. Kulitsa* // Otk-ryitye kompyuternye informatsionnyie integrirovannyye tehnologii. 2015. #70. S. 263 – 270.
5. *Alimpiev A., Barannik V., Podlesny S., Suprun O. and Bekirov A.* The video information resources integrity concept by using binomial slots // *2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Lviv, 2017, pp. 193-196.
6. *Gonzalez R.* Digital image processing / *R. Gonzalez, R. Woods. M. .:* Technosphere, 2005. 1072 p.
7. *Miano Dzh.* Formatyi i algoritmyi szhatiya izobrazheniy v deystvii: uchebnoe posobie / *Dzh. Miano*; per. s angl. M.: Triumf, 2003. 336 s.
8. *Vatolin D.* Metodyi szhatiya dan-nyih. Ustroystvo arhivatorov, szhatie izobrazheniy i video / *D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin.* M.: DIALOG – MIFI, 2003. 384s.
9. *W. J. Tsai and Y. C. Sun,* "Error-resilient video coding using multiple reference frames," *2013 IEEE International Conference on Image Processing*, Melbourne, VIC, 2013, pp. 1875-1879.
10. *Lidovskiy V.V.* Teoriya informatsii / *V.V. Lidovskiy.* M.: Kompaniya Sputnik , 2004. 111 s.
11. *Hahanov V.I.* Modeli i arhitektura veyvlet preobrazovaniy dlya standarta JPEG 2000 / *V.I. Hahanov, I.V. Hahanova, I.A. Pobezenko* // ASU i priboryi avtomatiki. 2007. #2(139). S. 4 – 12.
12. *Krasilnikov N.N.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. M.: Vuzovskaya kniga, 2011. 320 s.
13. *Krasnorutskiy A.A.* Metod arifmeticheskogo klassifikatsionnogo kodirovaniya transformant Uolsha / *A.A. Krasnorutskiy, S.Ya. Yatsenko* // Otkryitye informatsionnyie i kompyuternye integrirovannyye tehnologii. – Harkov: NAKU «HAI», 2006. Vyip. 31. S. 138-141.
14. *Stankiewicz O., Wegner K., Karwowski D., Stankowski J., Klimaszewski K. and T. Grajek,* "Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction," *2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Poznan, 2017, pp. 1-6.
15. *S. Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang, S. Ma and W. Gao,* "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, March 2017.
16. *Barannik V., Podlesny S., Krasnorutskiy A., Musienko A. and Himenko V.,* "The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action", *2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, Yerevan, 2016, pp. 1-5 (in press).
17. *Baccouch.H., Ageneau P.L., Tizon N. and N. Boukhatem,* "Prioritized network coding scheme for multi-layer video streaming," *2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2017, pp. 802-809.
18. *Barannik V.V.* Kontseptualnyiy metod povyishe-niya bezopasnosti distantsionnogo videoinformatsion-nogo resursa v sisteme aeromonitoringa krizisnykh situatsiy na osnove intellektualnoy obrabotki vide-okadrov / *V.V. Barannik, Y.N. Ryabuha* // Radioelektron-nyie kompyuternye sistemyi. 2015. # 3. – S. 19 – 21.
19. *Oksiyuk A.G.* Analiz podhodov k upravleniyu skorostyu peredachi videopotoka / *A.G. Oksiyuk, D.E. Dvuhglavov, V.V. Tverdokhlebl* / Suchasna spetsialna tehnika. 2014. #2. S. 17 – 18.
20. *Zhang Y., Negahdaripour S. and Li Q.* Error-resilient coding for underwater video transmission," *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7.
21. *Zheng B. and Gao S.,* "A soft-output error control method for wireless video transmission," *2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, Beijing, 2016, pp. 561-564.
22. *Gurzhiy P.N.* Adaptivne odnoosnovne pozitsiynne koduvannya masiviv dovzhin seriy dviykovih elementiv / *P.M. Gurzhiy, Yu.P. Boyko, V.F. Tretyak* // Radioelektronika i Informatika. 2013. #2. S. 12 – 17.
23. *Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V., Abbas B.A.A. and Mandefro E.A.,* "Qubit model for solving the coverage problem," *East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013)*, Rostov-on-Don, 2013, pp. 1-4.
24. *Barannik V., Krasnorutskiy A., Ryabukha Y.N. and Okladnoy D.E.* Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation," *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, 2016, pp. 736-738.
25. *Barannik V.V.* Metod seleksii kadrovogo potoka v sistemah kriticheskogo aeromonitoringa dlya povyisheniya bezopasnosti gosudarstvennogo informatsionnogo resursa / *V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha, S.S. Bulba* // Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologi. # 3. 2015. S. 111 – 118.
26. *Turenko S.V.* Kodirovanie vektora dvuhkomponentnykh kortezhey dlya tehnologii kompressii s transformirovaniem kadrov v infokommunikatsionnykh sistemah // Radioelektronika i informatika. 2013. #3. S. 10 – 13.
27. *Barannik V.V.* Metod intellektualnoy obrabotki gosudarstvennykh videoinformatsionnykh resursov dlya povyisheniya ih semanticheskoy tselostnosti v sistemah monitoringa krizisnykh situatsiy / *V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha* // Zahist Informatsiyi. #2. 2015. S. 125-134.

28. *Barannik V.V.* Technology of integration of effective coding of the stream of video frames into processing system of dynamic video information resources / *V.V. Barannik, S.S. Shulgin* // Наукоємні технології. 2016. №3. С. 265 – 268.

Поступила в редколлегию 12.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.В.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации автоматизированных систем управления, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, ul. Sumskaaya, 77/79, e-mail: vvbar.off@gmail.com.

Тарасенко Денис Анатольевич, соискатель Черкасского государственного технологического университета. Адрес: Украина, 18006, Черкассы, бул. Шевченко, 460, e-mail: vvbar.off@gmail.com.

Barannik Vladimir Viktorovich, doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Combat Application and Operation of Automated Control Systems, Kharkov National Air Force University named I. Kozhedub,, vvbar.off@gmail.com

Tarasenko Denys Anatolievich, searcher of the Cherkasy State Technological University. Address: Ukraine, 18006, Cherkasy, bul. Shevchenko, 460, e-mail: vvbar.off@gmail.com