

# МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КОДОГРАММ В ГРАДИЕНТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Владимир Баранник, Сергей Шульгин

Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина



**БАРАННИК Владимир Викторович, д.т.н.**

*Год и место рождения:* 1971 год, г. Изюм, Харьковская область, Украина.

*Образование:* Харьковский военный университет, 1994 год.

*Должность:* начальник кафедры боевого применения и эксплуатации АСУ с 2012 года.

*Научные интересы:* информационная безопасность.

*Публикации:* более 350 научных публикаций, среди которых монографии, учебники, учебные пособия, научные статьи и патенты на изобретения.

*E-mail:* [barannik\\_v\\_v@mail.ru](mailto:barannik_v_v@mail.ru)



**ШУЛЬГИН Сергей Сергеевич**

*Год и место рождения:* 1983 год, г. Черкассы, Украина.

*Образование:* Черкасский государственный технологический университет, 2012 год.

*Должность:* соискатель, Черкасского государственного технологического университета

*Научные интересы:* информационная безопасность.

*Публикации:* более 20 научных публикаций.

*E-mail:* [barannik\\_v\\_v@mail.ru](mailto:barannik_v_v@mail.ru)

**Аннотация.** В статье излагается, что для повышения безопасности и эффективности функционирования ведомственных организаций, стратегически важных производств необходимо обеспечить своевременность и достоверность получения видеoinформации с удаленных объектов. Показано, что для наиболее перспективных форматов видеопотоков возникают временные задержки и снижение доступности динамического видеoinформационного ресурса (ДВИР) при заданном уровне целостности информации. Проблемный анализ существующих видео-кодеков относительно повышения доступности видеoinформационного ресурса с заданным уровнем его целостности выявил их существенные недостатки. Обосновано направление, построения технологий обработки ДВИР базирующееся на устранении межкадровой избыточности с учетом форм представления информации на внутрикадровом уровне с использованием процесса формирования Р-кадров. Разработано эффективное кодирование нормированной информативной дифференциально-описанной спектрограммы (ДОС) в двухкомпонентном градиентном пространстве структурно-локальных ограничений для повышения безопасности динамических ВИР. Построена технология интеграции кодовых конструкций эффективного синтаксического представления нормированных информативных ДОС слотов Р-кадров в структуру MPEG-потока.

**Ключевые слова:** безопасность информации, динамический видеoinформационный ресурс, интенсивность битового потока, межкадровая избыточность, дифференциально-описанная спектрограмма.

## Вступление

Для повышения безопасности и эффективности функционирования ведомственных организаций, стратегически важных производств необходимо обеспечить своевременность и достоверность получения информации с удаленных объектов управления и объективного контроля [1-3]. Например, для ЖД транспорта требуется получать видеoinформацию касательно: контроля освобождения переезда автомобильным транспортом; процесса списывание состава поезда с натуры; контроля заполнения путей

сортировочного парка; осуществления коммерческого и технологического осмотра транспортных компонент и грузов [4].

Для расширения возможностей по контролю состояния объектов, выполняющих выше перечисленные функции необходимо использовать визуальные датчики. Для систем видеоконтроля, в том числе в системах управления и объективного контроля, получили распространения следующие форматы видеопотоков: QCIF, CIF, 4CIF, 8CIF, ED, HD. Такие приложения относятся к технологиям «живого видео» в режиме трансляции. Для снижения интенсив-

ности используются технологии кодирования видеопотока. Однако требуемая битовая интенсивность достигается только для уровня целостности информации соответствующей ПОСШ не выше 28 дБ. В тоже время ПОСШ на уровне не превышающем 30 дБ является недопустимым с позиции принятия решений относительно состояния объектов контроля [5, 6].

В то же время наиболее перспективными являются форматы видеопотока соответствующего формату HD для ПОСШ не ниже 40 дБ. Это приводит к возникновению временных задержек и к снижению доступности динамического видеoinформационного ресурса при заданном уровне целостности информации. Значит, существует **актуальная научно-прикладная задача**, состоящая в необходимости повышения безопасности закрытого динамического видеoinформационного ресурса в системах управления и объективного контроля.

Проблемный анализ существующих видеокодеков относительно повышения доступности видеoinформационного ресурса с заданным уровнем его целостности показал следующее [5, 6]:

- с одной стороны наибольшая степень снижения битовой скорости видеопотока достигается в результате устранения временной избыточности;

- с другой стороны механизмы исключения межкадровой избыточности связаны с внесением непредсказуемых значимых потерь целостности информации либо с характерной значительной задержкой на обработку видеопотока, что ведет к потере доступности информационного ресурса;

- механизмы пространственной обработки без учета временной избыточности не позволяют существенно снизить битовую скорость, т.е. повысить доступность видеoinформационного потока высокого разрешения для заданного уровня его целостности.

Направлением решения такой задачи является построение технологий обработки ДВИР с использованием методов устраняющих межкадровую избыточность с учетом форм представления информации на внутрикадровом уровне [7]. Для MPEG-технологий обработка потока кадров проводится по группам с использованием процесса формирования R-кадров, т.е. образования слотов R-кадров [8].

Отсюда **цель исследований** заключается в разработке метода формирования кодограмм для кодовых значений дифференциально-описанных спектрограмм в градиентном пространстве представления динамических видеoinформационных ресурсов.

#### Обоснование подхода для эффективного синтаксического представления слота R-кадров

Для повышения эффективности формирования и обработки кадров R-типа **предлагается** осуществлять предварительно трансформирование видеокadra из пространственно-временного в пространственно-спектральное описание. После получения трансформант двумерного преобразования, проводится построение дифференциального представления на основе формирования величин разно-

стей между соответствующими компонентами по позициям в кадрах.

В результате чего, группа  $Y_T$  трансформированных кадров заменяется на совокупность, состоящую из одного базового трансформированного кадра  $Y(1)$  и последовательности  $E_{T-1}$  дифференциально-представленных трансформированных кадров  $E(\tau)$ ,  $\tau = 2, T$ , т.е.  $Y_T \rightarrow \{Y(1); E_{T-1}\}$ . В данной формуле составляющая  $E_{T-1}$  представляет собой последовательность, длиной  $(T-1)$  кадр и записывается как  $E_{T-1} = \{E(2), \dots, E(T)\}$ . Здесь каждый дифференциально-описанный трансформированный (ДОТ) кадр  $E(\tau)$  образуется по совокупности двумерных массивов  $E(\tau)_{\chi, \gamma}$  размером  $w \times w$  элементов. При этом срез по  $\tau$  составляющей в последовательности ДОТ кадров образует слот ДОТ кадров, состоящий из последовательности двумерных массивов  $E(\tau)_{\chi, \gamma}$  для  $\tau = 2, T$ . Слот  $E(T-1)_{\chi, \gamma}^{(2)}$  ДОТ кадров представляется следующим выражением:  $E(T-1)_{\chi, \gamma}^{(2)} = \{E(2)_{\chi, \gamma}, \dots, E(\tau)_{\chi, \gamma}, \dots, E(T)_{\chi, \gamma}\}$ , где  $E(T-1)_{\chi, \gamma}^{(2)}$  – последовательность (слот) двумерных массивов с координатами  $(\chi; \gamma)$  в ДОТ кадрах, длиной  $(T-1)$ .

Слот  $E(T-1)_{\chi, \gamma}^{(2)}$  фактически представляет собой сквозную квадратную трубу, вырезанную вдоль последовательности ДОТ кадров на позиции  $(\chi; \gamma)$ , в каждом сечении которого находится двумерный массив  $E(\tau)_{\chi, \gamma}$  дифференциального описания трансформированного кадра.

Далее **предлагается** проводить обработку R-кадров в межтрансформантном направлении по временной оси по слотам. Для чего предлагается провести выявление структурных свойств слотов R-кадров с учетом наличия структурных особенностей дифференциально-описанных трансформант. При этом для повышения чувствительности выявления закономерностей относительно динамического изменения содержания слотов предлагается ввести такую структурную единицу, как дифференциально-описанная спектрограмма  $E^{(k, \ell)}$ .

Дифференциально-описанная спектрограмма (ДОС)  $E^{(k, \ell)}$  представляет собой срез вдоль слота по координате  $(k; \ell)$  в каждой трансформанте, т.е.  $E^{(k, \ell)} = \{e(2)^{(k, \ell)}, \dots, e(\tau)^{(k, \ell)}, \dots, e(T)^{(k, \ell)}\}$ . Структурной характеристикой ДОС является динамический диапазон  $d_e^{(k, \ell)}$  ее элементов. Поскольку в общем случае межтрансформантные разности  $e(\tau)^{(k, \ell)}$  принимают как положительные, так и отрицательные значения, то величина  $d_e^{(k, \ell)}$  без учета знака находится по формуле  $d_e^{(k, \ell)} = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{|e(\tau)^{(k, \ell)}|\}$ , где  $d_e^{(k, \ell)}$  – динамический диапазон элементов

(k; ℓ)-й дифференциально-описанной спектрограммы без учета знака величин  $e(\tau)^{(k,\ell)}$ ;  $|e(\tau)^{(k,\ell)}|$  - абсолютное значение межтрансформантной разности между (τ-1)-й и τ-й трансформантами.

### Синтез эффективного синтаксического представления дифференциально-описанной спектрограммы в составе слотов Р-кадров

В соответствии с особенностью информативной ДОС формировать эффективное синтаксическое представление предлагается с учетом ее интерпретации как позиционного числа. В связи с чем, требуется установить правило генерирования индексов (индексирование). Индексирование последовательностей  $E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  предлагается задавать следующим образом:

$$Q(E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e = C(E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e = \sum_{\tau=1}^{n_{\text{inf}}} \sum_{\eta=e_{\text{min}}^{(k,\ell)}}^{e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}-1} Q(e(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, e(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, e(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \eta), \quad (1)$$

где  $C(E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e$  - индекс последовательности  $E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  во множестве допустимых информативных ДОС с учетом выявленного градиентного пространства;

$Q(e(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, e(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, e(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \eta)$  - количество информативных дифференциально-описанных спектрограмм, у которых первые τ информативных элементов равны соответственно  $(e(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, e(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, e(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \eta)$ .

Соотношение (1) позволяет провести индексацию информативных ДОС с учетом количества допустимых последовательностей в сформированном градиентном пространстве, которое образуется для разного количества информативных элементов.

Теперь рассмотрим процесс градиентной нормализации. Данный процесс заключается в сдвиге отрицательной области значений информативного элемента  $e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  в положительном направлении симметрично относительно нулевого уровня.

Для величины разности  $(e(\tau+1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} - e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})$  между смежными информативными элементами ДОС выполняется условие:

$$-g(\tau)^{(k,\ell)} \leq (e(\tau+1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} - e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}) \leq g(\tau)^{(k,\ell)},$$

т.е. значение разности  $(e(\tau+1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} - e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Для устранения неоднозначности, вызванной наличием отрицательных и положительных значений, требуется провести сдвиг величин  $(e(\tau+1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} - e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})$  вправо, в область положительных значений на величину обобщенной харак-

теристики  $g(\text{max})^{(k,\ell)}$  градиентного пространства. Тогда образуются величины  $\bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ , равные:

$$\bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} = (e(\tau+1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} - e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} + g(\text{max})^{(k,\ell)}).$$

Откуда замечаем, что величины  $\bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  принимают положительные значения в диапазоне:

$$0 \leq \bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} \leq 2g(\text{max})^{(k,\ell)}.$$

Соответственно, информативная ДОС  $E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  после градиентной нормализации представляется нормированной последовательностью  $\bar{E}(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ , т.е.

$$\bar{E}(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} = \{\bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}\}, \tau = \overline{1, n_{\text{inf}}}.$$

Рассмотрим процесс синтеза эффективного синтаксического представления нормированной информативной ДОС  $\bar{E}(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  с учетом сформулированного правила индексирования.

Для этого заметим, что количество  $Q(\bar{e}(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \bar{e}(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, \bar{e}(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})$ , нормированных информативных ДОС, у которых первые τ информативных элементов равны соответственно  $(\bar{e}(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \bar{e}(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, \bar{e}(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})$ , а оставшиеся  $(n_{\text{inf}} - \tau)$  информативных элементов принимают значения согласно системе:

$$|e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}| = \begin{cases} \bar{d}_e^{(k,\ell)}, & \rightarrow \tau=1; \\ 2g(\text{max})^{(k,\ell)} + 1, & \rightarrow 2 \leq \tau \leq n_{\text{inf}}, \end{cases} \quad (2)$$

находится по определению в соответствии с выражением:

$$Q(n_{\text{inf}}; g(\text{max})^{(k,\ell)})_e = \bar{d}_e^{(k,\ell)} \cdot (2g(\text{max})^{(k,\ell)} + 1)^{n_{\text{inf}}-1}.$$

Откуда, получим следующее выражение

$$Q(\bar{e}(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \bar{e}(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, \bar{e}(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}) = (2g(\text{max})^{(k,\ell)} + 1)^{n_{\text{inf}}-\tau}.$$

После чего проведя суммирование по всем τ, где  $\tau = \overline{1, n_{\text{inf}}}$ , получим:

$$C(\bar{E}(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e = \sum_{\tau=1}^{n_{\text{inf}}} \bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} Q(\bar{e}(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \bar{e}(2)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}, \dots, \bar{e}(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}) = \sum_{\tau=1}^{n_{\text{inf}}} \bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} (2g(\text{max})^{(k,\ell)} + 1)^{n_{\text{inf}}-\tau}.$$

Данное соотношение обеспечивает формирование кодового значения  $C(\bar{E}(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e$  эффективного синтаксического представления для нормированной информативной ДОС  $\bar{E}(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ , элементы которой удовлетворяют системе ограничений (2), а их количество равно  $n_{\text{inf}}$ .

Граф-схема процесса вычисления кодового значения для нормированной информативной дифференциально-описанной спектрограммы (НИДОС) рассматривается на рис. 1. Такой процесс в

дальнейшем будем определять как эффективное кодирование нормированной информативной дифференциально-описанной спектрограммы в

двухкомпонентном градиентном пространстве структурно-локальных ограничений.

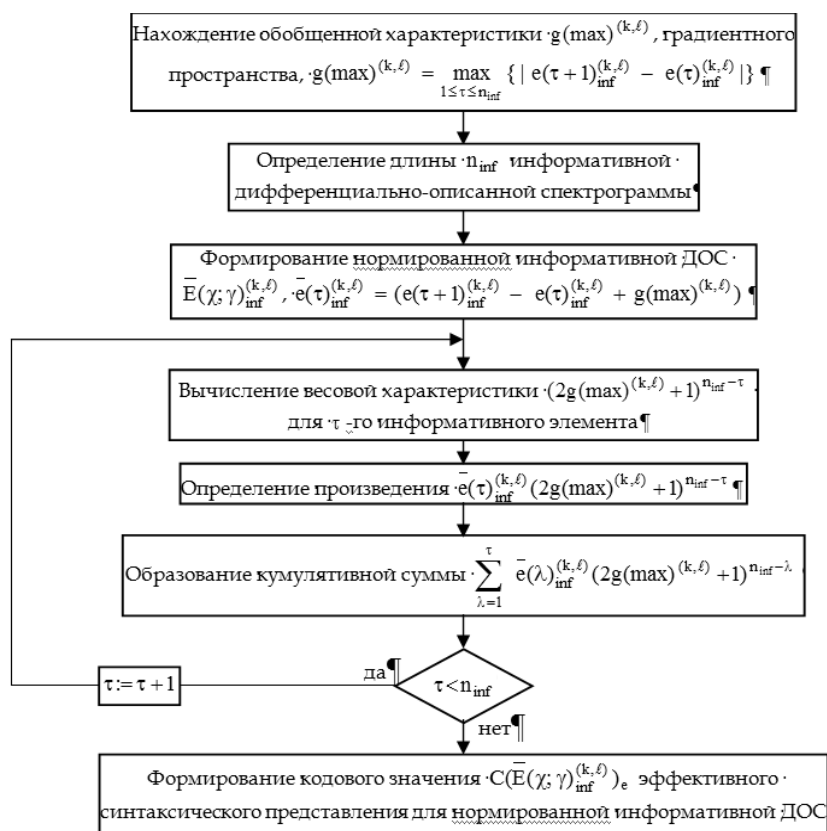


Рис. 1. Граф-схема формирования кодового значения для НИДОС

**Создание метода формирования кодограмм для кодовых значений дифференциально-описанных спектрограмм в градиентном пространстве**

Величина кодового значения  $C(\bar{E}(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e$  для нормированной информативной ДООС  $\bar{E}(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$  в общем случае зависит от контролируемых параметров (количества  $n_{\text{inf}}$  информативных элементов в ДООС) и неконтролируемых параметров, которые определяются адаптивно для каждой информативной ДООС, а именно двухкомпонентные градиентные ограничения  $\{ \bar{d}_e^{(k,\ell)}; g(\max)^{(k,\ell)} \}$  локально-структурных закономерностей. В связи с чем, кодовое значение будет иметь неравномерное распределение как в пределах одной последовательности пакета Р-кадров, так и между ними. Поэтому длина кодовой комбинации будет неравномерной.

Значит, для установления длины кодовой комбинации требуется выявить ограничения на максимальную величину кодового значения. Для этого будем использовать свойство весовых характеристик для элементов обрабатываемой последовательности в рамках структурно-комбинаторного подхода. Данное свойство задается следующим неравенством:

$$C(\bar{E}(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e \leq Q(n_{\text{inf}}; g(\max)^{(k,\ell)})_e - 1 = \bar{d}_e^{(k,\ell)} \cdot (2g(\max)^{(k,\ell)} + 1)^{n_{\text{inf}} - 1} - 1. \quad (3)$$

Данное свойство трактуется так: кодовое значение  $C(\bar{E}(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)})_e$  для нормированной информативной ДООС, элементы которой удовлетворяют сформированному двухкомпонентному градиентному пространству не будет превышать количество  $Q(n_{\text{inf}}; g(\max)^{(k,\ell)})_e$  комбинаций, которое можно для него образовать.

Использование соотношения (3) обеспечивает нахождение минимального количества  $V(n_{\text{inf}}; g(\max)^{(k,\ell)})_e$  разрядов, необходимого для представления кодового значения НИДОС для заданных двухкомпонентных градиентных ограничений  $\{ \bar{d}_e^{(k,\ell)}; g(\max)^{(k,\ell)} \}$ . Это определяется с помощью соотношения:

$$V(n_{\text{inf}}; g(\max)^{(k,\ell)})_e = [\ell \log_2 Q(n_{\text{inf}}; g(\max)^{(k,\ell)})_e] + 1 = [\ell \log_2 \bar{d}_e^{(k,\ell)}] + (n_{\text{inf}} - 1) \cdot [\ell \log_2 (2g(\max)^{(k,\ell)} + 1)] + 2 \text{ бит}. \quad (4)$$

Следовательно, длина кодограммы для кодового значения нормированной информативной ДОС будет равна  $V(n_{inf}; g(\max)^{(k,\ell)})_e$  битам.

Для определения величины  $V(n_{inf}; g(\max)^{(k,\ell)})_e$  согласно правилу выделения количества разрядов, заданному выражением (4), не требуется знание дополнительной служебной информации. В данном случае используется только те служебные данные, которые необходимы для непосредственно вычисления кодового значения нормированной информативной ДОС. Соответственно служебными данными будут динамический диапазон  $\bar{d}_e^{(k,\ell)}$  ДОС, обобщенная характеристика градиентного пространства  $g(\max)^{(k,\ell)}$ , количество информативных элементов  $n_{inf}$  (рис. 2).



Рис. 2. Структура  $S(\bar{E}(\chi; \gamma)_{inf}^{(k,\ell)})_e$  кодограммы кодового значения  $(k; \ell)$ -й нормированной информативной ДОС в составе  $(\chi; \gamma)$ -слота последовательности Р-кадров

Приняты следующие обозначения:

$S(\bar{E}(\chi; \gamma)_{inf}^{(k,\ell)})_e$  - кодограмма для  $(k; \ell)$ -й нормированной информативной ДОС принадлежащей  $(\chi; \gamma)$ -го слоту Р-кадров, включая информативную и служебные составляющие;

$V(n_{inf}; g(\max)^{(k,\ell)})_\Sigma$  - длина кодограммы  $(k; \ell)$ -й нормированной информативной ДОС;

$V(n_{inf}; g(\max)^{(k,\ell)})_e$  - длина в битах на представление информационной части кодограммы  $(k; \ell)$ -й нормированной информативной ДОС;

$S(\bar{E}(\chi; \gamma)_{inf}^{(k,\ell)})_e$  - значение кода для  $(k; \ell)$ -й нормированной информативной ДОС принадлежащей слоту  $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ ;

$S(E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)})$  - кодограмма  $(\chi; \gamma)$ -го слота Р-кадров.

#### Интеграция эффективного синтаксического представления слотов Р-кадров в структуру MPEG потока

В данном случае под интеграцией понимаются как условия, так и сам процесс встраивания кодо-

структура кодовой конструкции для слота Р-кадров будет иметь двух уровневый вид.

Первый уровень - уровень дифференциально-описанной спектрограммы, включает в себя:

- служебную информацию о динамическом диапазоне ДОС и обобщенную характеристику градиентного пространства;

- кодограмму (информационную часть), содержащую кодовое значение для нормированной информативной ДОС.

Второй уровень - уровень слота Р-кадров, содержит кодовые конструкции дифференциально-описанных спектрограмм.

грамм нормированных информативных дифференциально-описанных спектрограмм, принадлежащих слотам Р-кадров в MPEG поток.

В процессе интеграции кодограмм, содержащих кодовые значения НИДОС, в технологию обработки видеопотока необходимо учитывать следующие требования:

1. Заданный уровень качества восстановленных изображений, т.е. интегрируемая технология не должна снижать степень достоверности информации, который принят для всей системы.

2. Возможность сокращения служебных данных за счет внедрения в структуру MPEG потока кодограмм разработанного метода.

3. Возможность для снижения битовой интенсивности видеопотока как результат функционирования внедряемого кодера в стандарт технологии MPEG.

4. Необходимый уровень оперативности формирования и устойчивости кодовых комбинаций, эффективного синтаксического представления потока кадров, к ошибкам, возникающим в процессе передачи данных в инфокоммуникационных сетях.

Для этого в процессе встраивания необходимо учитывать следующие особенности эффективного кодирования нормированных информативных ДОС:

1. Дифференциально-описанные спектрограммы формируются на базе слотов Р-кадров, полученных путем дифференциального представления трансформированных кадров. В этом случае структуры MPEG потока претерпит следующие изменения:

– исключается из кодовой конструкции потока уровень описания кадра. Это объясняется тем, что кодовое представление формируется изначально для пакета кадров типа Р;

– кадры типа В отсутствуют;

– компенсация движения не проводится, следовательно, отсутствуют соответствующие поля в служебных заголовках макроблока и блока;

– не проводится квантизация компонент трансформант. Это приводит к возможности исключить из служебных заголовков видеополседовательностей, макроблоков и блоков полей, содержащих информацию о шаге квантования и типе сканирования трансформанты;

– обработка блоков проводится по фиксированной технологии. Значит, из служебного заголовка блока исключаются поля, содержащие информацию о типе кодирования блока и макроблока.

В то же время технология дифференциального представления предполагает наличие информации о начальном кадре, который обрабатывается по селективной схеме независимо от других и является базовым для разностного описания последующих кадров. В этом случае кодовая конструкция сжатого потока должна содержать поле под компактно-представленным базовым кадр.

2. Эффективное кодирование нормированных информативных ДОС предполагает образование в кодовом потоке собственных служебных полей, обусловленных наличием следующей уникальной служебной информации:

– информация о количестве информативных и интерполируемых элементов ДОС;

– информация о динамическом диапазоне ДОС;

– информация о значении обобщенной характеристики градиентного пространства.

3. Кодовое представление формируется для отдельной нормированной информативной ДОС. Для такого варианта нижний уровень конструкции кодового потока будет строиться на основе кодовых слов, содержащих отдельные кодовые значения НИДОС.

4. Построение цветового формата должно проводиться в режиме обеспечения высокого качества видеосцен. Это предполагает использование формата 4:2:2 - горизонтальные размеры матриц Сb и Cr вдвое меньше размера матрицы Y, а вертикальные размеры одинаковы. Тогда структура макроблока будет неоднородной и состоять из восьми блоков, включая: четыре блока яркости и четыре блока цветности (по два блока Сb и Cr) в следующем порядке:

Y1; Y2; Y3; Y4; Cb1; Cr1; Cb2; Cr2.

Значит, композиция выявления межкадровых апертур должна разделяться по макроблокам. Меж-

кадровые апертур будут формироваться для четырех блоков по яркостной составляющей Y1; Y2; Y3; Y4, двум блокам по цветовым составляющим соответственно Сb и Cr.

Базовой (неделимой) структурной единицей кодового видеопотока является кодограмма  $S(\bar{E}(\chi; \gamma)_{inf}^{(k, \ell)})_e$  эффективного синтаксического представления нормированной информативной ДОС, состоящей из информационной и служебной частей. Информационная часть кодограммы НИДОС содержит в себе значение кода  $C(\bar{E}(\chi; \gamma)_{inf}^{(k, \ell)})_e$ , сформированного с учетом ограничений градиентного пространства. Служебная часть строится из двух составляющих, а именно: динамического диапазона  $d_e^{-(k, \ell)}$  и обобщенной характеристики  $g(\max)^{(k, \ell)}$  градиентного пространства. На основе таких неделимых структурных единиц строятся нижние комплексные составляющие кодового потока - кодовая конструкция  $S(E(T-1)_{\chi, \gamma}^{(2)})$  слота Р-кадров. Здесь в соответствии с принятым цветовым форматом существует три типа блока: блок яркостной составляющей, блок цветовой составляющей Сb и блок цветовой составляющей Cr. На основе четырех блоков яркостной составляющей  $V(Y_1), V(Y_2), V(Y_3), V(Y_4)$ , двух блоков Сb-составляющей  $V(Cb_1), V(Cb_2)$  и двух блоков Cr-составляющей  $V(Cr_1), V(Cr_2)$  формируется уровень интегрированного макроблока  $M(i)$  слота последовательности Р-кадров. Длина  $V_{mb}$  информационной части интегрированного макроблока определяется по формуле

$$V_{mb, \alpha} = \sum_{i=1}^4 V(B(Y_i)) + \sum_{i=1}^2 V(B(Cb_i)) + \sum_{i=1}^2 V(B(Cr_i)).$$

В этой формуле используются следующие обозначения:  $V(B(Y_i))$  - длина i-го блока яркостной составляющей;  $V(B(Cb_i))$  - длина i-го блока Сb-составляющей;  $V(B(Cr_i))$  - длина i-го блока Cr-составляющей.

Далее на основе кодовых посылок интегрированных макроблоков образуется уровень последовательности Р-кадров в группе. Данный уровень состоит из:

1) информационной части, содержащей кодовые конструкции интегрированных макроблоков;

2) служебной части, включающей в себя кодовое представление:

– старт-код - маркер начала уровня последовательности Р-кадров в группе;

– кодового описания по селективной схеме базового кадра I-типа;

– информации о знаках элементов Р-кадров;

– параметров режима интерполяции ДОС.

Суммарная длина  $V_{\Pi}$  кодового представления уровня пакета Р-кадра определяется на основе следующего выражения:



$$V_{\Pi} = V_{\text{маркер}} + V(I) + V(S) + V(\Theta) + \sum_{\alpha=1}^{W_{\text{стр}} W_{\text{стб}} / 256} V_{\text{мб}, \alpha},$$

где  $V_{\text{маркер}}$  – длина старт-кода последовательности Р-кадров в группе;  $V(I)$  – длина кодового представления закрытого базового кадра;  $V(S)$  – длина кодового представления информации о знаках дифференциальных кадров в видеопотоке;  $V(\Theta)$  – длина кодового представления параметров режима аппроксимации апертуры;  $W_{\text{стр}} W_{\text{стб}} / 256$  – количество макроблоков в одном кадре изображения, когда размер одного макроблока равен  $16 \times 16$ .

Соответственно из отдельных кодовых конструкций последовательности Р-кадров формируется уровень видеопоследовательности. Данный уровень образует кодовую конструкцию всего кодированного закрытого видеопотока. Количество видеопоследовательностей зависит от количества последовательности Р-кадров, формируемых для исходного видеопотока. Если количество кадров в секунду равно  $v_k$ , длина пакета (длина межкадровой апертуры) равна  $g$ , то за время равное  $t$  секунд формируется  $v_k \cdot t / g$  видеопоследовательностей.

Значит закрытый кодовый видеопоток на основе эффективного синтаксического кодирования НИДОС в двухкомпонентном градиентном пространстве локально-структурных закономерностей по сравнению с MPEG потоком имеет менее сложную структуру; обеспечивается сокращение избыточной служебной информации и уровней потока; достигается однозначная идентификация структуры кодового потока.

### Экспериментальная оценка

Проведем сравнительную оценку битовых интенсивностей эффективно кодированных потоков кадров, обеспечиваемых для существующих MPEG технологий и с учетом интегрирования созданной технологии эффективного синтаксического представления нормированных информативных ДОС в слотах последовательности Р-кадров (КДОС). Здесь будут учитываться дополнительно следующие условия эксперимента:

1. Поток видеок кадров формируется в условиях стабилизации фона;

2. Базовый кадр, на основе которого образуются дифференциальные кадры, сжимается на базе технологии JPEG в режиме ПОСШ не меньше 40дБ;

3. Длина последовательности Р-кадров в группе выбирается не меньше чем  $T = 8$ ;

4. Используются два режима формирования исходного потока видеок кадров, а именно:

– режим 1 - формат кадра 4CIF (720x576), частота кадров, равна 15 кадров/с;

– режим 2 - формат кадра HD (1280x720), частота кадров, равна 25-30 кадров/с;

5. Эффективное синтаксическое представление матрицы знаков дифференциально-описанных трансформированных кадров проводится на основе методов обработки без потери целостности.

Сравнительные оценки представлены в виде диаграмм на рис. 3 (режим 1) и рис. 4 (режим 2).

Исследование диаграмм, приведенных на рис. 3 и 4 позволяет сделать такие заключения:

– для разработанной технологии эффективного синтаксического представления величина битовой интенсивности изменяется в следующих пределах: от 0,7, до 3 Мбит/с для режима 1; от 5 до 95 Мбит/с для режима 2;

– для обработки в реальном времени битовая интенсивность эффективного кодового представления видеопотока для разработанной технологии в среднем на 30% ниже по сравнению с битовой интенсивностью, обеспечиваемой для технологии стандарта MPEG-2;

– величина выигрыша по битовой интенсивности для ПОСШ соответствующих высокому качеству реконструкции ( $h \geq 48$ дБ), увеличивается дополнительно на 20%. Для ПОСШ не ниже 48 дБ выигрыш снижения битовой скорости относительно потока MPEG-2 достигает 50%.

Такие данные обеспечиваются за счет того, что в режиме низких потерь качества изображений для технологии стандарта MPEG-2 резко снижается степень компрессии. Для разработанной технологии обработки уменьшение битовой интенсивности видеок кадров достигается не только в результате устранения психовизуальной избыточности, но и путем исключения структурной избыточности, обусловленной, в том числе, наличием стационарного фона для динамических объектов.

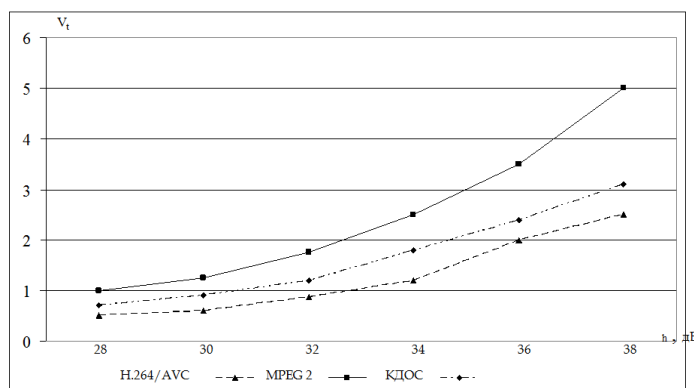


Рис. 3. Оценка величины  $V_t$  в зависимости от  $h$  для различных технологий компрессии видеопотока в режиме 1

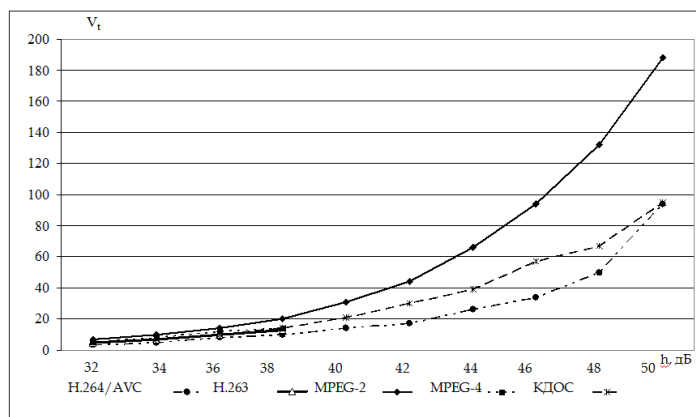


Рис. 4. Оценка величины  $V_t$  в зависимости от  $h$  для различных технологий компрессии видеопотока в режиме 2

### Выводы

1. Создано правило индексирования информативных ДОС с учетом количества допустимых последовательностей в сформированном градиентном пространстве, которое образуется для разного количества информативных элементов.

2. Разработано эффективное кодирование нормированной информативной дифференциально описанной спектрограммы в двухкомпонентном градиентном пространстве структурно-локальных ограничений для повышения безопасности динамических ВИР, учитывающее:

- выявление структурно-локальных закономерностей по результату анализа всех элементов ДОС;

- ограниченные значения динамических диапазонов элементов ДОС в соответствии с закономерностями двухкомпонентного градиентного пространства;

- то, что длина информативной дифференциально-описанной спектрограммы устанавливается заранее до начала процесса обработки;

- необходимость восстановления информативных элементов ДОС без потери целостности;

- рассмотрение информативной ДОС как позиционного числа с весовыми коэффициентами, вычисляемыми с использованием ограничений градиентного пространства;

- исключение дополнительной (избыточной) служебной информации о знаках элементов ДОС путем процесса градиентной нормализации.

3. Построена технология интеграции кодовых конструкций эффективного синтаксического представления нормированных информативных ДОС слотов Р-кадров в структуру MPEG-потока, обеспечивающая: заданный уровень целостности видеоинформации; сокращение служебных данных, используемых для MPEG потока; снижение битовой интенсивности видеопотока

4. Структура кодового представления закрытого кодового видеопотока включает в себя четыре комплексных уровней пакетов Р-кадров: уровень типового блока; уровень интегрированного макроблока, уровень пакета Р-кадра и уровень видеоследовательности. По сравнению с шести уровневой структурой MPEG потока исключаются такие уров-

ни как: уровень группы кадров, уровень кадра, уровень секции. Вместо них добавляется уровень пакета Р-кадров.

Проведенные экспериментальные оценки выявили следующие результаты:

- для обработки в реальном времени битовая интенсивность эффективного кодового представления видеопотока для разработанной технологии в среднем на 30% ниже по сравнению с битовой интенсивностью, обеспечиваемой для технологии стандарта MPEG-2;

- величина выигрыша по битовой интенсивности для ПОСШ соответствующих высокому качеству реконструкции ( $h \geq 48$  дБ), увеличивается дополнительно на 20%. Для ПОСШ не ниже 48 дБ выигрыш снижения битовой скорости относительно потока MPEG-2 достигает 50%.

### Литература

[1] Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.

[2] Комарова Л.О. Методи управління інформаційно-комунікаційними кластерами в кризових ситуаціях: монографія [Текст] / Л.О.Комарова // К.: ДУТ, 2014. – 395 с.

[3] Баранник В.В. Анализ особенностей применения видеоконференцсвязи в интересах профильных органов государственного управления / В.В.Баранник, А.В.Власов // Сучасна спеціальна техніка. – 2014. – Вип. 1. – С. 22-32.

[4] Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов / Под ред. В.Н. Солошенко. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 38 с.

[5] Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

[6] Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков – Х.: ХУПС, 2010. – 212 с.

[7] Баранник В.В. Модель оценки информативности слота Р-кадров на основе выявления структурно-градиентных межтрансформантных ограни-



чений / В.В. Баранник, С.С. Шульгин // АСУ и приборы автоматки. – №172. – 2015. – С. 12-21.

[8] Баранник В.В. Эффективное кодирование слотов р-кадров в пространстве структурно-

локальных ограничений для повышения безопасности динамических видеоресурсов/ В.В. Баранник, С.С. Шульгин // АСУ и приборы автоматки. – №173. – 2015. – С. 32-39.

## УДК 621.39 (045)

**Баранник В.В., Шульгин С.С. Метод формування кодограм в градієнтному просторі для підвищення доступності динамічних відеоінформаційних ресурсів**

**Анотація.** У статті викладається, що для підвищення безпеки та ефективності функціонування відомчих організацій, стратегічно важливих виробництв необхідно забезпечити своєчасність і достовірність отримання відеоінформації з віддалених об'єктів. Показано, що для найбільш перспективних форматів відеопотоків виникають часові затримки і зниження доступності динамічного відеоінформаційного ресурсу (ДВІР) при заданому рівні цілісності інформації. Проблемний аналіз існуючих відеокодеків щодо підвищення доступності відеоінформаційного ресурсу із заданим рівнем його цілісності виявив їх істотні недоліки. Обґрунтовано напрямки побудови технологій обробки ДВІР базується на усуненні міжкадрової надмірності з урахуванням форм представлення інформації на внутрішньо кадровому рівні з використанням процесу формування Р-кадрів. Розроблено ефективний кодуювання нормованої інформативною диференційно-описаної спектрограми (ДІОС) в двокомпонентному градієнтному просторі структурно-локальних обмежень для підвищення безпеки динамічних ВІР. Побудована технологія інтеграції кодових конструкцій ефективного синтаксичного представлення нормованих інформаційних ДІОС слотів Р-кадрів в структуру MPEG-потоків.

**Ключові слова:** інформаційна безпека, динамічний відеоінформаційний ресурс, інтенсивність бітового потоку, міжкадрова надмірність; диференційно-описана спектрограма.

**Barannik V., Shulgin S. Code values forming method in gradient space for dynamic video information resources availability increases**

**Abstract.** The article describes necessary to ensure the timeliness and accuracy of receiving the video from remote sites to increase security and efficiency of departmental institutions and strategically important industries. It is shown that the most perspective formats of video streams have time delays and reducing the availability of dynamic video information resource (DVIR) for a given level of data integrity. Problem analysis of existing video codec's on improving availability of video information resource with a given level of its integrity revealed their significant disadvantages. Directions, constructing of processing technologies of the DVIR based on the elimination of inter-frame redundancy based forms of information on intra-level using the process of formation of P-frames were there grounded. Developed efficient coding normalized informative differential-described spectrogram (DDS) in the space of two-component gradient structure-local restrictions to enhance the safety of dynamic VIR. Technology of integration of code constructions effective syntactic representation of normalized informative DDS slots P-frames in the structure of the MPEG-stream is constructed.

**Key words:** information security; dynamic video information resource; the intensity of bitstream, inter-frame redundancy; differential-described spectrogram.

---

Отримано 13 травня 2016 року, затверджено редколегією 30 травня 2016 року

---