

ЭФФЕКТИВНОЕ КОДИРОВАНИЕ СЛОТОВ Р-КАДРОВ В ПРОСТРАНСТВЕ СТРУКТУРНО-ЛОКАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВИДЕОРЕСУРСОВ

Обосновывается необходимость повышения безопасности динамических видеоинформационных ресурсов в системах управления и объективного контроля для стратегически значимых отраслей и ведомственных организаций. Излагается подход для создания метода обработки последовательности Р-кадров на основе сокращения межтрансформантной избыточности без потери целостности информации. Формулируются требования, которые необходимо заложить в процесс разработки эффективного синтаксического описания информативной дифференциально описанной спектрограммы как базовой структурной единицы слотов Р-кадров. Излагается правило индексирования информативных дифференциально описанных спектрограмм с учетом количества допустимых последовательностей в сформированном градиентном пространстве. Разрабатывается эффективное кодирование нормированной информативной дифференциально описанной спектрограммы в двухкомпонентном градиентном пространстве структурно-локальных ограничений для повышения безопасности динамических видеоресурсов.

1. Введение

Эффективность функционирования стратегически значимых для государства отраслей и ведомственных организаций во многом зависит от уровня информатизации и обеспечения безопасности информации. Информационная безопасность определяется тремя основными категориями: доступность, целостность и конфиденциальность. В кризисных ситуациях наибольший вес имеют угрозы потери целостности и доступности информационного ресурса [1, 2]. Существуют угрозы нарушения свойств доступности и целостности. Такая ситуация происходит вследствие наличия множества уязвимостей, обусловленных ограниченными характеристиками инфокоммуникационных технологий, в том числе использующих тракт беспроводной передачи данных. Это особенно критично в случае необходимости реализации видеоинформационного взаимодействия или организации сбора видеоинформации с дистанционных сенсоров.

При такой ситуации неминуемы задержки по доставке информации. Для решения сложившейся проблемы интегрируются технологии эффективного синтаксического представления видеопотоков [3, 4]. В то же время существующие технологии обработки имеют недостатки. Снижение интенсивности битового потока достигается ценой увеличения задержек на время обработки и потери целостности информации. Поэтому исследования, касающиеся совершенствования технологий эффективного синтаксического представления видеоданных, являются актуальными.

Структурный анализ последовательности кадров изображений показал наличие в них высокой избыточности. Она обусловлена присутствием в соседних кадрах областей стационарного фона. Информацию о стационарных областях допускается передавать с использованием механизмов структурной обработки. Следовательно, в условиях формирования изображений стационарного фона резко повышается количество временной избыточности, обусловленной наличием межкадровых структурных закономерностей. Учет такой особенности не предусмотрен для существующих кодеков видеопотока. Поэтому предлагается применять подход, базирующийся на обработке последовательности кадров с использованием структурного подхода, учитывающего наличие для последовательности кадров областей стационарного фона [4]. Отсюда *цель исследований* заключается в разработке эффективного кодирования слотов Р-кадров в градиентном пространстве структурно-локальных ограничений для повышения безопасности динамических видеоресурсов.

2. Формирование концептуального базиса эффективного синтаксического представления слотов R-кадров

Основной структурной единицей (структурным базисом) для разработанного подхода обработки последовательности кадров в потоке является дифференциально описанная спектрограмма (ДОС) $E^{(k,\ell)}$. В случае привязки ДОС к слоту формируется запись $E(\chi;\gamma)^{(k,\ell)}$ – $(k;\ell)$ -я дифференциально описанная спектрограмма для $(\chi;\gamma)$ -го слота последовательности ДОТ кадров. Поскольку слот $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ трактуется как двумерный пакет дифференциально описанных спектрограмм $E(\chi;\gamma)^{(k,\ell)}$, то его можно представить следующей записью [5]:

$$E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)} = \bigcup_{k=1}^w \bigcup_{\ell=1}^w E(\chi;\gamma)^{(k,\ell)}. \quad (1)$$

С другой стороны, по определению слот $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ представляет собой сквозную квадратную трубу, вырезанную вдоль последовательности ДОТ кадров на позиции $(\chi;\gamma)$.

Тогда с учетом соотношения (1) группу Y_T трансформированных кадров $Y(\tau)$, $Y_T = \{Y(\tau)\}$, $\tau = \overline{1, T}$ можно выразить через ДОС:

$$Y_T = Y(1) \cup E_{T-1} = Y(1) \cup \bigcup_{\chi=1}^{w_{\text{стр}}} \bigcup_{\gamma=1}^{w_{\text{стб}}} \bigcup_{k=1}^w \bigcup_{\ell=1}^w E(\chi;\gamma)^{(k,\ell)}.$$

Здесь $Y(1)$ – базовый трансформированный кадр.

В свою очередь каждая ДОС $E(\chi;\gamma)^{(k,\ell)}$ представляется в виде совокупности информативной $E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ и интерполированной $E(\chi;\gamma)_{\text{int}}^{(k,\ell)}$ частей, т.е.

$$E(\chi;\gamma)^{(k,\ell)} = E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} \cup E(\chi;\gamma)_{\text{int}}^{(k,\ell)}.$$

При этом базисом для эффективного синтаксического описания информативной ДОС является двухкомпонентное градиентное ограничение, а именно $\{\bar{d}_e^{(k,\ell)}; g(\max)^{(k,\ell)}\}$.

Величина обобщенного градиентного ограничения $g(\max)^{(k,\ell)}$ вычисляется для каждой информативной дифференциально описанной спектрограммы по формуле

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

где $e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$, $e(\tau+1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ – информативные элементы $(k;\ell)$ -й интерполированной ДОС, соответственно расположенные в ней на τ -й и $(\tau+1)$ -й позициях.

С учетом этого, для первого информативного элемента ДОС динамический диапазон $\bar{d}(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ будет равен общему динамическому диапазону $\bar{d}_e^{(k,\ell)}$ последовательности $E_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$.

Величина $\bar{d}(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ динамического диапазона остальных элементов информативной дифференциально описанной спектрограммы, $\tau = \overline{2, n_{\text{inf}}}$, будет равна

$\bar{d}(1)_{\text{inf}}^{(k,\ell)} = \bar{d}_e^{(k,\ell)} = |e_{\text{min}}^{(k,\ell)} - e_{\text{max}}^{(k,\ell)}| + 1$. Отсюда на максимальные абсолютные значения (спецификации) элементов $e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ последовательности $E(\chi;\gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ в градиентном пространстве $G^{(k,\ell)}$ наложены ограничения, описываемые следующей системой неравенств:

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

Поэтому для повышения безопасности динамических ВИР необходимо синтезировать функционал $F(E^{(k,\ell)})_{\text{apr}}$, задающий эффективное синтаксическое представление информативной ДОС $E(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ как базовой структурной единицы слотов Р-кадров в градиентном пространстве локально-структурных закономерностей. При этом необходимо учитывать следующие особенности:

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

2) ограниченные значения динамических диапазонов элементов ДОС в соответствии с закономерностями, описанными системой неравенств (2);

3) длина n_{inf} информативной дифференциально-описанной спектрограммы устанавливается заранее до начала процесса обработки;

4) необходимость восстановления элементов ДОС в условиях обеспечения требуемого уровня целостности динамических ВИР. Здесь требуется учитывать то, что информативные элементы $e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ ДОС несут информацию об элементах $e(\tau)_{\text{int}}^{(k,\ell)}$ ее интерполированной составляющей $E(\chi; \gamma)_{\text{int}}^{(k,\ell)}$, а величина ошибки зависит от значения обобщенной характеристики $g(\text{max})^{(k,\ell)}$ градиентного пространства. Следовательно, информативные элементы должны обрабатываться без потери целостности;

5) количество $Q(n_{\text{inf}}; g(\text{max})^{(k,\ell)})_e$ комбинаций для информативной ДОС в условиях, когда ее элементы удовлетворяют системе закономерностей (2), в двухкомпонентном градиентном базисе $\{\bar{d}_e^{(k,\ell)}; g(\text{max})^{(k,\ell)}\}$ определяется по формуле:

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

Это позволяет рассматривать информативную ДОС $E(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ как позиционное число с весовыми коэффициентами, вычисляемыми с использованием соотношения (3);

6) элементы $e(\tau)_{\text{inf}}^{(k,\ell)}$ информативной ДОС принимают как положительные, так и отрицательные значения.

Исходя из этого, для формирования эффективного синтаксического представления без формирования дополнительной (избыточной) служебной информации о знаках элементов ДОС предлагается провести их нормировку в область положительных значений. Такой процесс в дальнейшем будем называть градиентной нормализацией.

Согласно изложенному можно заключить, что сформулированы требования, которые необходимо заложить в процесс разработки эффективного синтаксического описания информативной ДОС как базовой структурной единицы слотов Р-кадров для повышения безопасности ДВИР.

3. Разработка эффективного синтаксического представления дифференциально описанной спектрограммы в составе слотов Р-кадров

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

$$Q(E(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k, \ell)})_e = C(E(\chi; \gamma)_{\text{inf}}^{(k, \ell)})_e = \sum_{\tau=1}^{n_{\text{inf}}} \sum_{\eta=e_{\text{min}}^{(k, \ell)}}^{e(\tau)_{\text{inf}}^{(k, \ell)}-1} Q(e(1)_{\text{inf}}^{(k, \ell)}, e(2)_{\text{inf}}^{(k, \ell)}, \dots, e(\tau-1)_{\text{inf}}^{(k, \ell)}, \eta), \quad (4)$$

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 (4) 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.

Тогда образуются величины $\bar{e}(\tau)_{\text{inf}}^{(k, \ell)}$, равные

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

Отсюда 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 разработки 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 (2), находится по определению в соответствии с выражением (3). 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 этого проведя суммирование по всем τ , где $\tau = \overline{1, n_{\text{inf}}}$, получим

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

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_{inf} .

По изложенному материалу можно сделать такие заключения:

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.

4. Выводы

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.

Научная новизна результатов исследований. Впервые синтезирован метод эффективного синтаксического представления последовательностей Р-кадров на основе межтрансформантного кодирования. Отличия от существующих методов заключаются в том, что кодовое значение формируется для нормированной информативной дифференциально описанной спектрограммы в составе слотов Р-кадров с учетом двухкомпонентных градиентных ограничений локально-структурных закономерностей. Это позволяет снизить битовую интенсивность закрытой по базовому кадру группы кадров без потери целостности информации.

Список литературы: 1. *Комарова Л.О.* Методи управління інформаційно-комунікаційними кластерами в кризових ситуаціях: монографія [Текст] / Л.О.Комарова // К.:ДУТ, 2014. 395 с. 2. *Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов* / Под ред. В.Н. Солошенко. М.: ГОУ „Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”. 2008. 3. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео М.: Диалог-Мифи, 2003. 381с. 4. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 5. *Баранник В.В.* Модель оценки информативности слота Р-кадров на основе выявления структурно-градиентных межтрансформантных ограничений / В.В. Баранник, С.С. Шульгин // АСУ и приборы автоматики. 2015. Вып. 172. С. 76-81.

Поступила в редколлегию 28.12.2015

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, 23, ул. Сумская, 77/79, тел. 8-050-3038971.

Шульгин Сергей Сергеевич, соискатель Киевского Национального авиационного университета. Научные интересы: обработка видеoinформации и безопасность инфокоммуникационных систем. Адрес: Украина, Киев, пр. Космонавта Комарова, 1.