

Метод защиты видеоинформации в энергоэффективных телекоммуникационных системах

Главное управление Национальной полиции в Харьковской области

В статье описывается селективный метод закрытия базового видеокadra, который основан на закрытии не всего кадра, а только его наиболее значимых составляющих. Энергетическая значимость этих составляющих оценивается по степени семантической и структурной насыщенности блоков яркостной составляющей, входящих в ее состав. В статье впервые введено понятие структурной единицы. Она формируется из трех макроблоков по одному от каждой цветовой составляющей YCbCr базового видеокadra. Также разработана методологическая база для определения энергетической значимости структурной единицы базового видеокadra на основе оценки информации, содержащейся в суммарных значениях низкочастотных компонент трансформанты дискретного косинусного преобразования блока яркостной составляющей.

Введение

В современных телекоммуникационных системах разработчики стали уделять большое значение внедрению технологий безопасности. Также касается и систем видеоконференцсвязи. Существующие технологии скрытия видеоинформационных ресурсов обеспечивают необходимую конфиденциальность. Однако они имеют существенный недостаток: их работа основана на закрытии всего потока передаваемой информации вне зависимости от типа и содержания видеосцены. Такой подход закрытия информации называется полным. Его использование для открытых видеоинформационных ресурсов в инфокоммуникационных системах реального времени является непрактичным.

Для решения этой проблемы применяется селективный подход шифрования. Его суть заключается в скрытии наиболее значимых компонент видеопотока. Эти компоненты формируются в процессе сжатия видеоданных. Поэтому такое шифрование относится к селективному.

Предлагается закрывать только базовый I-кадр. Это позволит уменьшить объем и время обработки шифрованных сжатых видеоданных.

При использовании селективного подхода, основанного на закрытии базового I-кадра, с одной стороны выполняются требования по обеспечению конфиденциальности и целостности видеоинформационного ресурса. Но с другой стороны, реализация такого подхода приводит к увеличению интенсивности передаваемых закрытых видеоданных, в результате чего снижается пропускная способность закрытого видеоканала. Это приводит к невозможности выполнения требований, установленных для ведомственных систем видеоконференцсвязи по обеспечению необходимой пропускной способности скрытого канала. В этом случае снижается эффективность проведения ведомственных сеансов видеоконференцсвязи.

Удельный вес закрытого базового кадра значительно (до 80%) влияет на интенсивность всей группы видеокadров. Это объясняется тем, что процесс сжатия с помощью алгоритма MPEG после закрытия I-кадра практически не происходит. Такое происходит в результате разрушения статистических, психовизуальных, структурных закономерностей в процессе шифрования.

Поэтому при использовании селективного подхода, основанного на

закрытии базового I-кадра, с одной стороны выполняются требования по обеспечению конфиденциальности и целостности видеoinформационного ресурса. Но с другой стороны, реализация такого подхода приводит к увеличению интенсивности передаваемых закрытых видеоданных, в результате чего снижается пропускная способность закрытого видеоканала. Значит, необходимо дополнительно снизить интенсивность закрытого видеопотока в условиях обеспечения требуемой достоверности и конфиденциальности.

Таким образом, целью статьи является разработка и исследование селективного метода закрытия базового I-кадра в процессе сжатия, обеспечивающего снижение пропускной способности закрытого видеоканала.

Основная часть

Селективный подход, основанный на закрытии I-кадра, относится к варианту межкадровой селекции. Межкадровая селекция находится на уровне структуры потока видеок кадров, где закрытию подлежит не весь видеоряд, а определенное количество кадров. В таком подходе закрытия основным недостатком является увеличение интенсивности (снижение пропускной способности видеоданных до 70%). Поэтому для повышения пропускной способности предлагается дополнительно рассматривать подход, основанный на закрытии видеопотока на базе внутрикадровой селекции.

Под понятием внутрикадровой селекции подразумевается закрытие не всего видеок кадра, а только значимых S_{3H} его составляющих. Под значимой S_{3H} составляющей понимается такая составляющая базового видеок кадра, которая несет в себе наибольшую семантическую и структурную информативность. В процессе автоматической селекции значимых S_{3H} составляющих предлагается учитывать структурные особенности формирования видеопотока.

Для селекции значимых структурных единиц S_{3H} предлагается выявлять наиболее информативные, в плане структурного и семантического содержания, составляющие базового кадра. Поскольку наиболее полную информацию несет яркостная составляющая видеок кадра K_1 , то значимые структурные единицы предлагается выявлять на базе яркостных компонент.

Определение энергетической насыщенности блоков предлагается осуществлять после ДКП.

Интегральная зависимость компонент трансформанты ДКП выглядит следующим образом:

1. Значение компоненты в верхнем левом углу трансформанты ДКП пропорциональны средней яркости изображения. Они характеризуют степень насыщенности блока изображения низкочастотными перепадами. К низкочастотным перепадам относят ступенчатые изменения уровня яркости или координаты цвета.

2. Компоненты в средней части трансформанты определяют степень насыщенности блока изображения линейными, равномерными изменениями уровня яркости.

3. Значения компонент в нижней правой области трансформанты ДКП характеризуют степень насыщенности высокочастотными перепадами блока изображения. К высокочастотным перепадам относят импульсные изменения значений элементов изображений.

На рис. 1 показано расположение компонент в трансформанте ДКП блока яркостной составляющей видеокадра.

Для трансформанты ДКП в сильнонасыщенных блоках изображения характерны следующие особенности:

- значения компонент ДКП уменьшается по диагональному зигзагу слева - направо, сверху – вниз;
- компоненты ДКП с большими значениями сконцентрированы в относительно малой области трансформанты. Компоненты с минимальными значениями занимают большую площадь трансформанты;
- при большой площади изображения, имеющей мало изменяющуюся яркость, размер области трансформанты с большими значениями компонент имеет маленькую площадь.

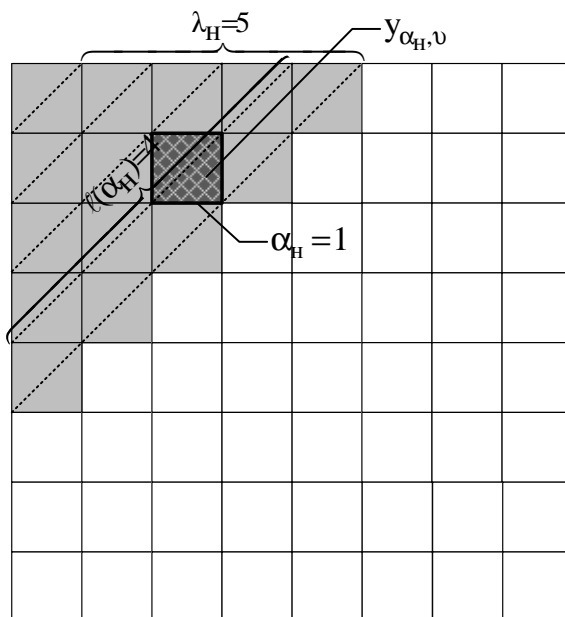


Рис. 1. Схема расположения компонент в трансформанте ДКП блока яркости видеокадра

Предлагается оценивать структурную и семантическую информативность структурной единицы с позиции спектральных характеристик. Для определения блоков с выраженными яркостными ступенчатыми перепадами предлагается использовать информацию, содержащуюся в совокупности низкочастотных компонент. Такую информацию предлагается оценивать с помощью показателя $Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ суммарных значений низкочастотных компонент, которые находятся в первых 4-х диагоналях ($1 \leq \lambda_H \leq 5$). Показатель $Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)} = \frac{\log_2 \sum_{\alpha_H=1}^{\lambda_H} \sum_{\nu=1}^{\ell(\alpha_H)} y_{\alpha_H, \nu}^2}{\sum_{\alpha_H=1}^{\lambda_H} \ell(\alpha_H)}, \quad (1)$$

где $Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ – показатель, который определяет суммарное значение низкочастотных компонент ДКП блока $B(Y)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ яркости; $y_{\alpha_H, \nu}$ – значение компоненты трансформанты; λ_H – количество диагоналей с низкочастотными компонентами в трансформанте; ν – индекс элемента внутри α_H -ой диагонали; α_H – индекс низкочастотной λ_H -ой диагонали; $\ell(\alpha_H)$ – длина низкочастотной α_H -ой диагонали.

Предлагается разработать систему правил для принятия решения по энергетической значимости структурных единиц на основе информации о значимости блоков яркостной составляющей.

В основе правил лежит система сравнения показателя $Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ совокупности значений низкочастотных компонент с пороговыми значениями δ_{\min_H} и δ_{\max_H} . Будем считать, что δ_{\max_H} – верхний предел для оценки показателя $Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ совокупности значений низкочастотных компонент блока $B(Y)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей. δ_{\min_H} – нижний предел для оценки показателя $Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ совокупности значений низкочастотных компонент блока $B(Y)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей.

Предлагается проводить оценку энергетической значимости макроблока $M(Y)^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей базового видеокadra K_I . Макроблок $M(Y)^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей будет считаться энергетически значимым в двух случаях:

Если в состав макроблока $M(Y)^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей входит один и больше блоков $B(Y)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ с высокой степенью семантической и структурной насыщенности. Это можно описать следующим выражением:

$$M(Y)^{(\xi, \gamma)} = M(Y)_{3H}^{(\xi, \gamma)} \text{ и } M=1, \text{ если } Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)} > \delta_{\max_H}.$$

Если в состав макроблока $M(Y)^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей входят два $N_{sr} = 2$ и больше $N_{sr} > 2$ блоков $B(Y)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$ со средней степенью семантической и структурной насыщенности, то есть выполняется неравенство:

$$(\delta_{\min_H} \leq Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)} \leq \delta_{\max_H}),$$

тогда:

$$M(Y)^{(\xi, \gamma)} = M(Y)_{3H}^{(\xi, \gamma)} \text{ и } M=1 \text{ если } N_{sr} \geq 2, \\ N_{sr} = N_{sr} + 1, \text{ если } (\delta_{\min_H} \leq Z(B_H)_\varphi^{(\xi, \gamma)} \leq \delta_{\max_H})$$

где N_{sr} – количество блоков со средней структурной и семантической насыщенности.

Остальные структурные единицы обрабатываются по стандартному алгоритму видеокomпрессии.

Структурная схема метода селекции значимых структурных единиц $S_{3H}^{(\xi, \gamma)}$ с использованием информации по совокупности значений низкочастотных компонент трансформанты ДКП блоков $B(Y)_\varphi^{(\xi, \gamma)}$, $\varphi = \overline{1,4}$ яркостной составляющей представлена на рис. 2.

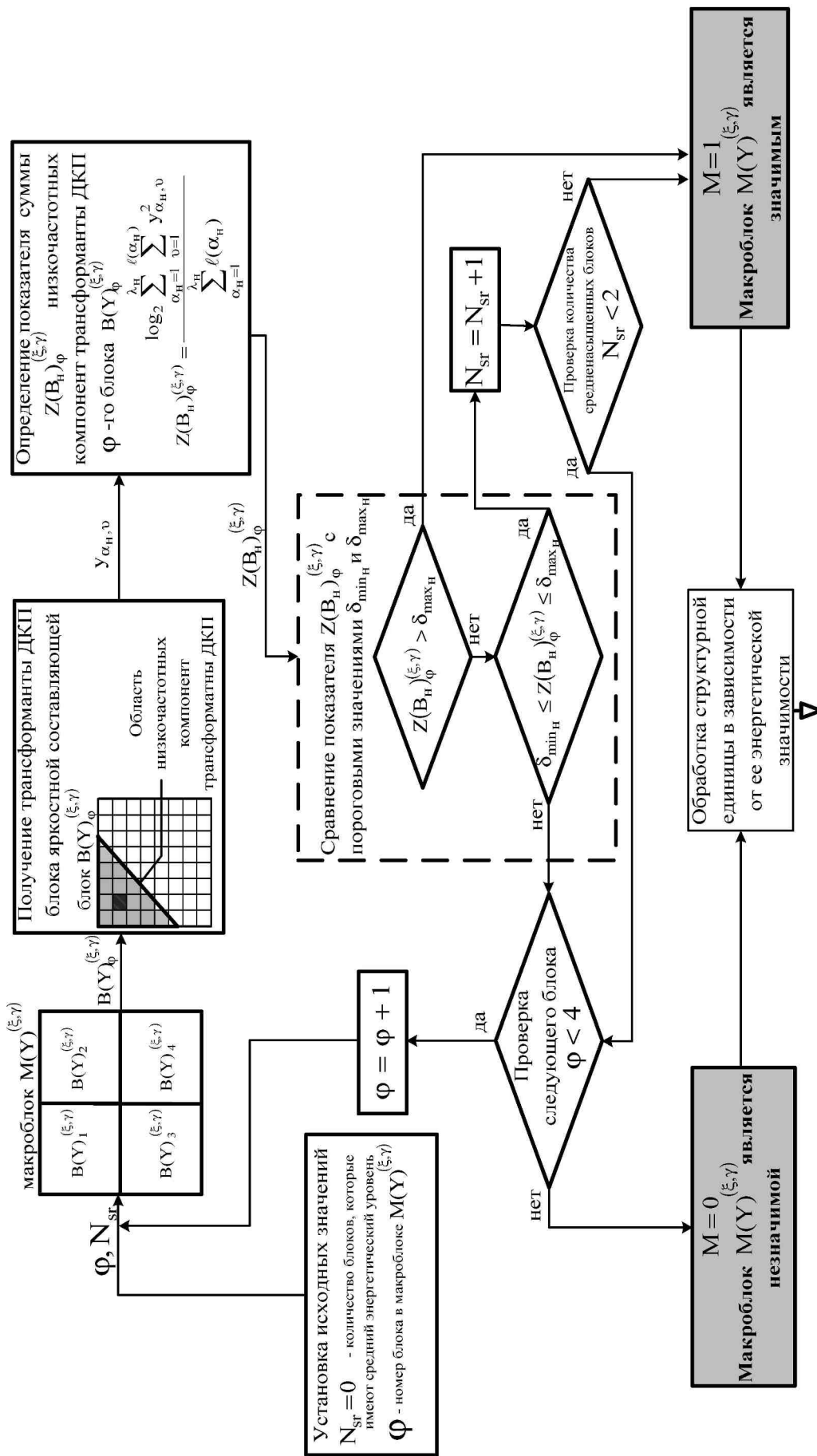


Рис. 2. Структурная схема метода селекции значимых структурных единиц $S_{zn}^{(\xi, \gamma)}$ с использованием информации по совокупности значений низкочастотных компонент трансформанты ДКП блоков $V(Y)^{(\xi, \gamma)}_\phi$ яркостной составляющей

Выводы

1. Разработана технология, которая позволяет выявлять наиболее энергетически значимые структурные единицы базового видеокadra, которая базируется на оценке информации, содержащейся в низкочастотных компонентах трансформанты ДКП блока яркостной составляющей.

2. Разработана система показателей (метрика) для выявления наиболее значимых блоков яркостной составляющей видеокadra по степени семантической и структурной насыщенности на основе оценки информации, содержащейся в суммарных значениях низкочастотных компонент трансформанты ДКП. Использование данного метода позволяет снизить интенсивность закрытого видеоинформационного ресурса на 30-70% по сравнению с закрытием всего базового видеокadra.

3. Разработан метод, который позволяет выявлять (селекционировать) значимые структурные единицы S_{3H} базового видеокadra K_I на основе оценки показателя $Z(B_H)_{\phi}^{(\xi, \gamma)}$ по совокупности значений низкочастотных компонент блока $B(Y)_{\phi}^{(\xi, \gamma)}$ яркостной составляющей с пороговыми значениями. В результате работы такого метода происходит выявления участков изображения базового видеокadra, которые обладают выраженными структурными переходами, текстурными и яркостными перепадами.

Получил дальнейшее развитие способ селекции значимых составляющих кадра на основе оценки степени их информативности. Отличительными характеристиками данного способа являются проведение оценки информативности для структурных единиц в спектральной области на основе иерархии порогового взвешивания низкочастотных составляющих. Это создает условие для закрытия видеопотока на основе технологии внутрикадровой селекции.

Впервые разработан метод закрытия базового видеокadra на основе селекции структурных единиц. Данный метод в отличие от других методов осуществляет закрытие видеокadra с использованием селективной обработки структурных единиц в зависимости от их семантической и структурной информативности. Это позволяет закрыть поток видеоинформации в условиях обеспечения требований по времени доставки и достоверности информации.

Литература

1. Д. Ватолин, А. Ратушняк, М.Смирнов, В. Юкин, Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео М.: Диалог-Мифи, 2003. – 381с.

2. Ян Ричардсон. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения Москва: Техносфера, 2005. - 368с.

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

4. Баранник В.В. Методологические принципы представления апертур во множестве одномерных двухосновных позиционных чисел / В.В. Баранник, Д.С. Кальченко // АСУ и приборы автоматики. – 2011. – Вып. 155. – С. 15 – 22.

Поступила в редакцию 23.11.2015

Метод захисту відеоінформації в енергоефективних телекомунікаційних системах

У статті описується селективний метод закриття базового відеокадру, який заснований на закриття не всього кадру, а тільки його найбільш значущих складових. Енергетична значущість цих складових оцінюється за ступенем семантичної та структурної насиченості блоків яскравісної складової, що входять до її складу. У статті вперше введено поняття структурної одиниці. Вона формується з трьох макроблоків по одному від кожної колірної складової YCrCb базового відеокадру. Також розроблена методологічна база для визначення енергетичної значущості структурної одиниці базового відеокадру на основі оцінки інформації, що міститься в сумарних значеннях низькочастотних компонент трансформантів дискретного косинусного перетворення блоку яскравісної складової.

The Method of Protection of the Video Information in Energyefficient Telecommunication Systems

This article describes a method of selective closure of the base frame, which is based on the closure not the entire frame, but only its most significant elements. The significance of these energy components is evaluated according to the degree of semantic and structural saturation blocks for the luminance component included in its composition. The article first introduced the concept of structural units. It is formed of three macroblocks, one from each component of the YCrCb color of the underlying video frame. Also developed methodological framework to determine the energetic significance of the structural unit of the base video frame based on the evaluation of information contained in the total values of the low-frequency component of the transformants of discrete cosine transform block for the luminance component.