

УДК 621.327:681.5

А.Н. Додух

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ЗАДЕРЖЕК КОМПРЕССИИ ВИДЕОДАНЫХ В ДИСТАНЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ФОРМИРОВАНИЯ

Проводится обоснование сложностей, возникающих на пути организации видеoinформационного обеспечения для сектора дистанционного формирования и доставки видеоданных с использованием беспроводных инфокоммуникационных технологий. Обосновывается, что для совершенствования технологий сжатия с контролируемым уровнем искажений необходимо использовать построение апертурных структур. Предлагается для устранения недостатков, связанных со статистической обработкой и возможностью сокращения избыточности в интегрированном описании, разработать позиционное кодирование, учитывающее структурные особенности апертурных составляющих.

Ключевые слова: инфокоммуникационные технологии, апертурные составляющие.

Проводиться обґрунтування труднощів, що виникають на шляху організації видеoinформаційного забезпечення для сектора дистанційного формування та доставки відеоданих з використанням безпроводових інфокомунікаційних технологій. Обґрунтовується, що для удосконалення технологій стиснення з контрольованим рівнем спотворень необхідно використовувати побудову апертурних структур. Пропонується для усунення недоліків, пов'язаних зі статистичною обробкою і можливістю скорочення надмірності в інтегрованому описі, розробити позиційне кодування, що враховує структурні особливості апертурних складових.

Ключові слова: інфокомунікаційні технології, апертурні складові.

We justify the difficulties, related to video information organization ensuring for the remote sector of the formation and delivery of video data with use of wireless communication technologies. It is proposed to eliminate the drawbacks, associated with the statistical treatment and the possibility of reducing the redundancy in the description of the integrated design position coding taking into account the structural features of the aperture components.

Keywords: information and communication technologies, aperture components.

Важной вехой развития современного общества является уровень использования в его интересах новейших достижений в сфере информационно-телекоммуникационных технологий. Наибольшие сложности на пути организации видеoinформационного обеспечения возникают для сектора дистанционного формирования и доставки видеоданных с использованием беспроводных инфокоммуникационных технологий.

Как показывает практика, за последнее десятилетие вырос спрос на осуществление дистанционной видеосъемки с использованием БПЛА. Проведенный анализ существующих технологий доставки видеоданных, формируемых дистанционно и

передаваемых с использованием беспроводных каналов связи, показал несоответствие требованиям служб предоставляющих услуги видеосервисов. Поэтому возникает *противоречие* между характеристиками доставки (задержка на доставку, качество визуального восприятия) видеоданных с использованием существующих средств телекоммуникаций на базе беспроводных технологий и требованиями видеоприложений.

Таким образом, снижение временных задержек на дистанционную обработку и передачу видеоданных с использованием беспроводных средств телекоммуникаций является *актуальной научно-прикладной задачей*.

Сформулированную задачу *предлагается* решать на базе развития технологий компрессии. Анализ технологий компрессии показал, что они не обеспечивают требований относительно характеристик доставки насыщенных изображений для сектора дистанционного формирования, обработки и передачи видеоданных с использованием беспроводных телекоммуникационных систем. Поэтому для снижения задержки в процессе доставки видеоданных необходимо провести совершенствование технологий сжатия на основе выявления апертур по следующим двум направлениям, а именно использование статистических кодов и устранения психовизуальной избыточности. При этом выявляются закономерности интегрированного характера и повышается количество сокращаемой избыточности.

Цель исследований заключается в разработке метода снижения задержек на доставку видеоданных для средств телекоммуникаций дистанционного формирования и передачи видеоданных на основе технологий позиционного кодирования в условиях апертурного описания.

1. Анализ особенностей технологий обработки видеоданных в системах дистанционной съемки (формируемых дистанционными средствами телекоммуникаций)

Сформулированную задачу в условиях заданных характеристик беспроводных технологий обработки и передачи данных *предлагается* решать на базе развития технологий компрессии. В этом случае задержка доставки видеоданных и коэффициент сжатия будет определяться по следующим формулам:

$$T(W_{\text{сж}})_{\text{пер}} = W / k_{\text{сж}} U_k. \quad (1)$$

$$k_{\text{сж}} = W / W_{\text{сж}}. \quad (2)$$

С одной стороны, использование ТСВ позволяет сократить объем передаваемых данных, а с другой стороны, возникает задержка на обработку ($T_{\text{сж}} + T_{\text{в}}$) видеоданных, обусловленная выполнением процессов сжатия $T_{\text{сж}}$ и восстановления $T_{\text{в}}$ изображений. Такая задержка зависит от количества выполняемых операций, отводимых на сжатие $v(V)_{\text{сж}}$ и восстановление $v(V)_{\text{в}}$ изображений, содержащих V элементов. С учетом чего величины $T_{\text{сж}}$ и $T_{\text{в}}$ оцениваются по следующим формулам:

$$T_{\text{сж}} = v(V)_{\text{сж}} / U_{\text{б}}; \quad T_{\text{в}} = v(V)_{\text{в}} / U_{\text{б}}. \quad (3)$$

Положительный эффект от реализации ТСВ в процессе доставки данных обеспечивается в случае выполнения неравенства:

$$T_{\text{сж}} + T(W_{\text{сж}})_{\text{пер}} + T_{\text{в}} \leq T(W)_{\text{пер}}, \quad (4)$$

где $T(W)_{\text{пер}}$ – время передачи видеоданных без сжатия.

Методы обработки изображений разделяются на несодержащие в себе механизмы устранения психовизуальной избыточности и базирующиеся на механизмах, обеспечивающих сокращение психовизуальной избыточности. Здесь, важной характеристикой является значение пикового отношения сигнал шум (ПОСШ), оцениваемое по формуле:

$$h_{\text{сж}} = 20 \lg(255/\varepsilon), \quad (5)$$

где 255 – значение динамического диапазона элементов исходного изображения.

Оценка степени сжатия методов кодирования без внесения искажений показана на рис. 1.

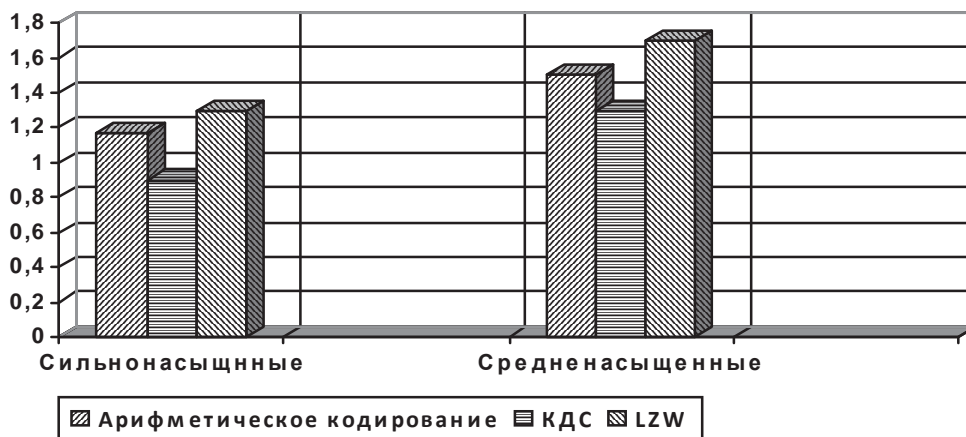


Рис. 1. Диаграммы зависимости $k_{\text{сж}}$ от класса изображений для методов первого класса

Откуда можно заключить, что для методов первого класса при обработке насыщенных реалистических изображений степень сжатия не превышает 2 раз.

Наиболее широко используемыми технологиями, базирующимися на методах второго класса, являются JPEG и JPEG2000. Данные технологии являются комплексными, и включают в себя пакет механизмов, направленных на выполнение этапов предварительной обработки сегментов изображений, обработку промежуточного представления фрагментов изображений, кодирование данных и формирование кодовых конструкций сжатого представления.

Основная составляющая степени сокращения объемов видеоданных формируется за счет устранения психовизуальной избыточности и учета двух особенностей зрительного восприятия изображений. Особенности большей значимости для восприятия яркостной составляющей по сравнению с цветоразностными и меньшей значимостью для восприятия высокочастотных составляющих по сравнению с низкочастотными учитываются в результате предварительной обработки.

Психовизуальная избыточность обусловлена учетом закономерностей в визуальном восприятии изображений зрительной системой человека, откуда в реконструируемых изображениях будут проявляться искажения. Поэтому для

технологий компрессии характерен дисбаланс. Это обусловлено *двумя группами причин*. Первая группа причин объясняется тем, что для технологий второго класса степень сжатия достигается в основном за счет устранения психовизуальной избыточности. Оценки степени компактного представления для ПОСШ 40 дБ приведены на рис. 2.

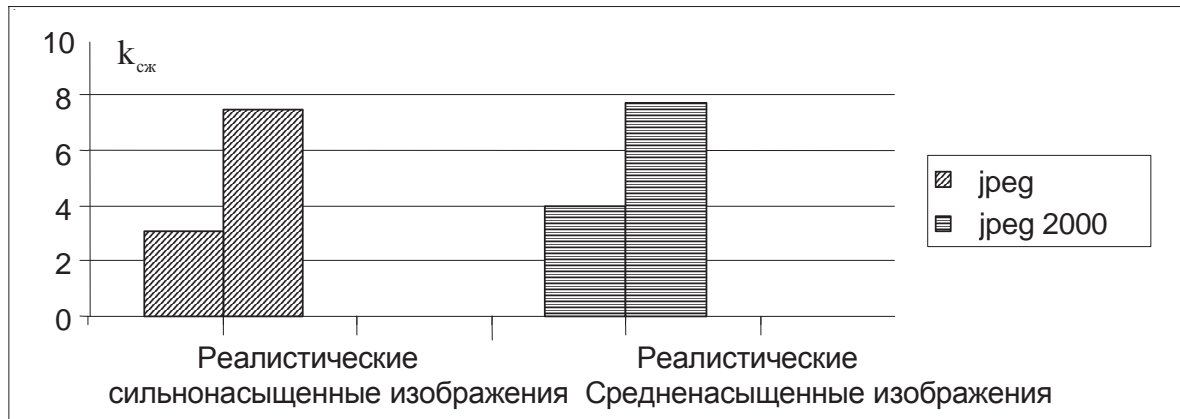


Рис. 2. Диаграммы зависимости $k_{сж}$ от класса изображений для методов второго класса

Вторая группа причин обусловлена относительной сложностью обработки данных на базе технологий JPEG. Основная доля затрат количества операций на обработку происходит на этапах выполнения трансформационных преобразований (ортогональных преобразований и вейвлет-преобразований) и в режиме обеспечения требуемого качества изображений. Сложность арифметического кодирования для двоичного представления трансформант может достигать 60–70 % от всего процесса обработки. В результате чего повышаются временные затраты на обработку, что особенно значимо сказывается для энергоэффективных вычислительных технологий сектора дистанционного формирования и обработки изображений.

Значит, по изложенному материалу можно заключить, что существующие технологии компрессии не обеспечивают требований относительно характеристик доставки насыщенных изображений для сектора дистанционного формирования, обработки и передачи видеоданных с использованием беспроводных телекоммуникационных систем и наибольшие степени сжатия достигаются для технологий сжатия с внесением искажений.

Для снижения задержки в процессе доставки видеоданных необходимо провести совершенствование технологий сжатия.

2. Обоснование направления для снижения задержки в процессе компрессии видеоданных в системах дистанционной съемки

Предлагается проводить совершенствование технологий компрессии в рамках второго класса методов.

Рассмотрим первую причину. Степень сжатия для технологий JPEG-платформы достигается на основе учета структурно-психовизуальных и статистических свойств трансформант. При этом для метода JPEG и JPEG2000 такие свойства проявляются по-разному. Это главным образом определяется этапом предварительной обработки.

Для рекомендаций JPEG предварительный этап состоит в выполнении дискретного косинусного преобразования (ДКП). Это объясняет то, что для технологий

на базе JPEG с одной стороны достигается повышение степени сжатия для оптических изображений и текстурных участков изображений. В то время как резко снижается эффективность при сжатии изображений, насыщенных резкими перепадами и мелкими деталями. В противном случае рост степени сжатия для такого класса изображений сопровождается появлением блочного эффекта на разжатых изображениях, вплоть до разрушения их отдельных фрагментов. Значит, механизм выполнения ДКП для локально-равномерных сегментов в случае отсутствия обратной связи оказывается нечувствительным к степени насыщенности обрабатываемых фрагментов. Поэтому для фиксированной стратегии квантования для насыщенных изображений искажения будут проявляться в большей степени как с позиции визуальной оценки, так и с позиции ПОСШ. Использование же обратной связи в процессе кодирования приводит к повышению количества операций на обработку и, как следствие, росту задержки на сжатие.

Технологии JPEG 2000 отличаются тем, что на предварительном этапе выполняется дискретное вейвлет-преобразование (ДВП). Для таких технологий незначительно повышается степень сжатия насыщенных изображений. С другой стороны, наоборот, при сжатии текстурных участков эффективность снижается.

Общим недостатком существующих технологий на JPEG платформе является то, что для насыщенных изображений не обеспечивается сжатие в режиме сохранения высокого качества декодированных изображений.

Можно заключить, что степень сжатия находится в существенной зависимости от количества вносимых погрешностей. Степень сжатия не превышает в среднем 1,5 раз для ПОСШ выше 40 дБ. Наоборот степень сжатия до 20 раз достигается для ПОСШ не превышающему 20 дБ. Это соответствует режиму обработки с внесением значительных потерь информации.

Рассмотрим вторую причину. Затраты количества операций для методов класса JPEG связаны пропорциональной зависимостью с уровнем искажений в декодированных изображениях. Это объясняется особенностями технологии обработки на этапе квантизации компонент. Чем больше отбрасывается высокочастотных компонент, тем больше уровень искажений и степень сжатия, но при этом меньшее количество компонент поступает на дальнейшую обработку, т.е. сокращается количество операций кодирования.

Значит, для технологий на JPEG платформе можно заключить, что:

1) отсутствует механизм предварительной обработки, позволяющий получать трансформированное представление, обеспечивающее условия для эффективного сжатия различных видов и типов изображений.

2) в режиме сохранения высокого качества декодирования изображений сильно насыщенных мелкими деталями и перепадами сжатие не обеспечивается и увеличивается количество операций на обработку.

Для совершенствования технологий сжатия с контролируемым уровнем внесения искажений *предлагается* использовать построение апертурных структур. Под апертурой понимается участок изображения, значения элементов которого находятся в пределах ограниченного динамического диапазона.

Апертура характеризуется двухкомпонентной системой координат. Первая компонента определяет позицию апертуры $X^{(\xi)}$ в кадре изображения. Для этого используется координата первого элемента $x_{\xi, \gamma}$ апертуры, относительно которого осуществляется определение величин $b(\min)_{\xi}$ и $b(\max)_{\xi}$ и длина l_{ξ} апертуры,

равная количеству подряд расположенных элементов, для которых выполняется условие $x_{\xi, \gamma+r} \in [b(\min)_{\xi}; b(\max)_{\xi}]$, $r=0, \overline{\ell_{\xi}-1}$, где

$$b(\max)_{\xi} = x_{\xi, \gamma} + b/2; \quad b(\min)_{\xi} = x_{\xi, \gamma} - b/2, \quad (6)$$

где $b(\min)_{\xi}$, $b(\max)_{\xi}$ – значения соответственно нижней и верхней границ (ξ)-й апертуры; b – высота апертуры.

Вторая координата позиционирует апертуру по шкале яркости (цветности). Для устранения избыточности в режиме контролируемых потерь качества восстанавливаемых изображений и ограниченности времени на их обработку *предлагается* использовать среднее значение \bar{x}_{ξ} по всем элементам апертуры:

$$\bar{x}_{\xi} = \left(\sum_{r=0}^{\ell_{\xi}-1} x_{\xi, \gamma+r} \right) / \ell_{\xi}. \quad (7)$$

Достоинство подхода заключается в сокращении сложности процесса обработки изображений. Управление степенью вносимых искажений обеспечивается на основе изменения высоты b апертуры. Степень компрессии $k_{\text{сж}}$ будет также зависеть от высоты апертуры b , и определяться по формуле

$$k_{\text{сж}} = d Z_{\text{стр}} Z_{\text{стб}} / D = d Z_{\text{стр}} Z_{\text{стб}} / (D_x + D_{\ell}), \quad (8)$$

где D_x , D_{ℓ} – суммарные объемы цифрового представления для координат начального элемента апертур и для их длин

$$D_x = d v_a; \quad D_{\ell} = \sum_{\xi=1}^{v_a} \ell \log_2 \ell_{\xi}. \quad (9)$$

Здесь v_a – количество апертур.

В тоже время предложенный подход для предварительной обработки в технологиях компрессии имеет следующие недостатки:

- в результате выполнения условия префиксности неравномерных кодовых слов, происходит увеличение длины кодовых комбинаций и дополнительное снижение помехоустойчивости кодограмм к ошибкам в канале связи;

- формируются неравномерные кодовые комбинации с неконтролируемой длиной;

- не учитываются закономерности, которые можно выявить в случае блочной обработки.

Следовательно, можно заключить, что предварительная обработка изображений на основе построения апертурных структур позволяет снизить влияние недостатков, свойственных для ДКП и ДВП, относительно степени сжатия и качества реконструируемых изображений, и создать возможность для выявления структурных закономерностей. Это обеспечивает снижение задержки на обработку и повышение степени сжатия в условиях требуемого уровня качества декодированных изображений, но выявление апертур в условиях заданной ее высоты и последующего использования технологий статистического кодирования характеризуется рядом недостатков. Это ограничивает возможности предложенной технологии на основе выявления апертур.

Выводы

Существующие технологии компрессии не обеспечивают требований относительно характеристик доставки насыщенных изображений для сектора дистанционного формирования, обработки и передачи видеоданных с использованием беспроводных телекоммуникационных систем. Незначительная степень компрессии является основной причиной ограниченного применения в системах доставки изображений по беспроводным каналам связи в реальном времени, с использованием технологий сжатия без потери информации. Наибольшие степени сжатия достигаются для технологий сжатия с внесением искажений. Однако для таких технологий характерен дисбаланс, проявляющийся в том, что, с одной стороны, степень сжатия относительно методов первого класса повышается, а с другой – снижается качество реконструируемых изображений. В итоге время передачи может остаться значительным. Для допустимого уровня искажений временные затраты на доставку могут достигать десятков секунд, что превышает требуемые задержки.

Поэтому для совершенствования технологий сжатия с контролируемым уровнем внесения искажений *предлагается* использовать альтернативное направление предварительной обработки, состоящее в построении апертурных структур.

Для устранения недостатков, связанных с поэлементной обработкой, необходимо компоненты апертурного описания кодировать на базе интегрированного структурного подхода. В этом случае из отдельных типовых компонент апертуры формируются массивы: неравномерная координатно-структурная составляющая и построочно-масштабирующая составляющая.

Для устранения недостатков статистической обработки *предлагается* разработать позиционное кодирование, учитывающее структурные особенности апертурных составляющих.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений : Конспект лекций / В.Б. Кашкин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 121 с.
2. *Сэлмон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
3. *Barannik V.* Two-component encoding of approximating picture pixels in telecommunication facilities / V. Barannik., A. Dодuh // International Symposium [IEEE East-West Design & Test I], (Kharkov, Ukraine, September 7–10, 2012) / Ukraine, 2012. – P. 154–157.
4. *Баранник В.В.* Способ кодирования построочно-масштабирующей составляющей фрагмента изображения / В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, А.Н. Додух // Сучасна спеціальна техніка. – № 2. – 2012. – С. 32–38.
5. *Баранник В.В.* Технология сжатия цифровых изображений на основе двухкомпонентного кодирования / В.В. Баранник, А.Н. Додух // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2012. – № 157. – С. 14–24.

Отримано 07.02.2013