

УДК 629.391

БАРАННИК В.В., д.т.н., професор (ХУПС),  
 РОГОЗА І.Е., аспірант (НАУ),  
 КРАНСОРУЦЬКИЙ А.А., інженер (ХУПС)

## Обоснование базовой технологии компрессии изображений с заданным качеством визуализации

Показано, что для повышения эффективности процесса доставки видеoinформации высокого разрешения необходимо проводить совершенствование систем компрессии в рамках технологий сжатия с наличием ограниченных потерь качества визуализации изображений. Обосновывается необходимость дальнейшего совершенствования методов компрессии в рамках формата JPEG на основе использования технологии кодирования битового описания трансформант.

**Ключевые слова:** качество визуализации изображений, битовое представление трансформант

### Введение

В настоящее время широко используемыми сервисами являются видеоконференцсвязь, системы видеонаблюдения как с использованием проводных стационарных и беспроводных мобильных телекоммуникационных технологий (ТКТ) [1]. Распространение получают форматы HD и Full HD. В этом случае размера кадра соответственно равен  $1280 \times 720$  и  $1920 \times 1080$ , а частота изменяется от 30 кадров/с для систем с ограниченной пропускной способностью до 60 кадров/с – с относительно высокой пропускной способностью [2; 3].

Время передачи несжатых изображений достигает нескольких сотен секунд, в то время как требуемое время доставки одного кадра не должно превышать нескольких миллисекунд. В современных инфокоммуникационных системах для снижения объемов видеoinформации используются технологии компрессии изображений.

Оценка характеристик технологий компрессии с

наличием ограниченных потерь качества по степени сжатия  $\eta$  в зависимости от класса изображений приведены на рис. 1 [3; 4].

Анализ диаграмм на рис. 1 позволяет заключить, что степени сжатия существующих технологий компрессии изменяются от 1,2 до 30 раз в зависимости от класса изображений. С одной стороны, это позволяет снизить объемы видеоданных и организовывать передачу изображений нормального SD качества по высокоскоростным каналам связи ( $C_k \geq 10$  Мбит/с) на небольшие расстояния. Однако с ростом размеров изображений как второй составляющей качества визуализации, предъявляемых со стороны видеoinформационных сервисов, до форматов HD и Full HD с частотой кадров, превышающих 30 кадров/с, данные степени сжатия оказываются недостаточными. В зависимости от доступной скорости передачи данных степень сжатия необходимо повысить в среднем на 10 – 50%.

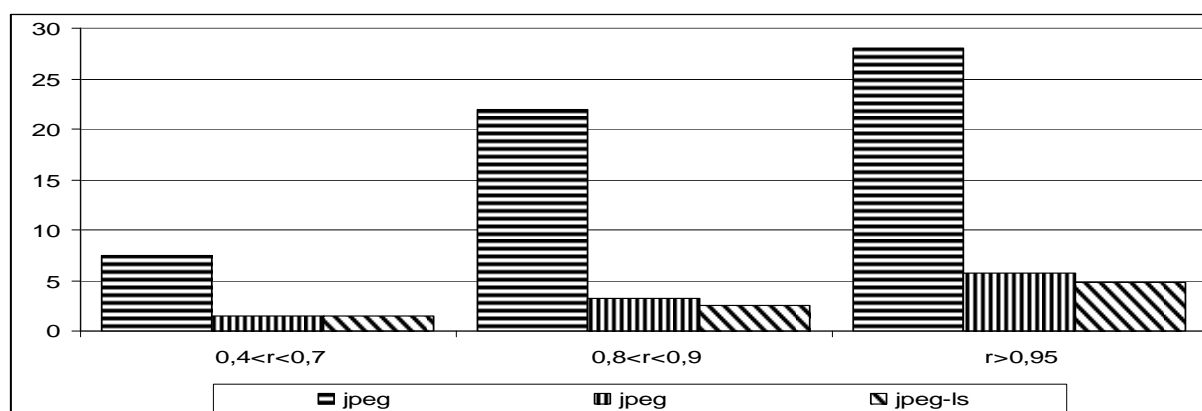


Рисунок 1 - Диаграммы зависимости  $\eta$  от степени когерентности изображений и ПОСШ

© В.В. Баранник, И.Е. Рогоза, А.А. Красноруцкий, 2013

Значит, снижение объемов видеоданных, передаваемых в инфокоммуникационных системах при сохранении заданного качества визуализации, т.е. заданного размера изображений и наличия ограниченного искажения их качества, является *актуальной научно-прикладной задачей*. Отсюда, цель исследований состоит в обосновании базовой технологии для компрессии изображений с заданным качеством визуализации.

### **Обоснование базовой технологии для компрессии изображений с заданным качеством визуализации**

Необходимо оценить возможности существующих технологий и методов компрессии оцифрованных изображений относительно сокращения времени доставки данных в информационных системах.

В современных системах принятия и поддержки решений, наибольший вес имеют растровые реалистические полноцветные изображения с различной степенью когерентностью. Полноцветные изображения формируются, как правило, с использованием трех цветовых составляющих, элементы которых оцифрованы в соответствии с 256 уровнями квантования. Степень когерентности реалистических изображений оценивается на основе корреляционных зависимостей. Для сильнокогерентных изображений -  $0,4 \leq r \leq 0,7$ , для среднекогерентных -  $0,8 \leq r \leq 0,9$  и для слабокогерентных -  $r \geq 0,95$ . Здесь  $r$  - коэффициент корреляции [3 – 4].

Системы компрессии классифицируются в зависимости от использования в них методов с потерей и без потери качества реконструкции. Методы без потери качества осуществляют обработку без учета психовизуальных особенностей восприятия изображений зрительной системой. Представителями методов данного класса являются статистическое кодирование по методу Хаффмана, статистическое арифметическое кодирование (АК), метод выявления структурных характеристик на основе кодирования длин серий (КДС, RLE), метод словарного кодирования LZW. Методы с регулируемыми потерями качества учитывают в процессе обработки изображений психовизуальные особенности зрительной системы человека. В случае если психовизуальная избыточность не устраняется, то обработка проводится без потери качества изображений. В другом крайнем случае, в результате сокращения психовизуальной избыточности могут наступить критические процессы. Тогда восстановление изображения будет сопровождаться разрушением его структуры и содержания.

В этой связи в качестве базового направления необходимо использовать технологию сжатия, позволяющую:

1) сокращать объем реалистических изображений в режиме наличия ограниченных потерь их качества;

2) учитывать в процессе сжатия возможность сокращения психовизуальной избыточности, обусловленной особенностями восприятия изображений лицом, принимающим решения, и пространственной избыточности, обусловленной наличием когерентных областей изображения.

Технологией компрессии изображений, соответствующей данным требованиям, является технология JPEG [3 – 4]. Для выявления направлений дальнейшего совершенствования технологии сжатия на базе методов JPEG рассмотрим основные ее составляющие.

Вначале выполняется предварительная обработка. Ее суть заключается в смене исходного цветового пространства изображения RGB. Для этого изображение переводится в цветовое пространство YUV [3]. Данное преобразование выполняется для получения промежуточного представления исходных видеоданных, обеспечивающее потенциальную возможность для сокращения психовизуальной избыточности. Это объясняется тем, что основную информационную нагрузки с позиции восприятия изображений зрительной системой несет яркостная составляющая Y. Наоборот, за счет того, что человеческий глаз менее чувствителен к цвету, чем к яркости, появляется возможность исключения дополнительной психовизуальной избыточности в плоскостях U, V.

После чего проводится трансформирование изображений с использованием двумерного дискретного косинусного преобразования (ДКП). При этом ДКП обладает следующими преимуществами преобразований [4]:

1) обеспечивает декорреляцию для большинства классов изображений с различной степенью когерентностью;

2) обеспечивает более лучшими адаптивными возможностями для оптических изображений, для изображений с плавными переходами, сигналов гауссовской природы, для изображений, в которых присутствуют наличие области, значительно отличающихся друг от друга по текстурным признакам;

3) затрачивается меньшее количество машинных операций. Получаемый выигрыш по сложности обработки создает возможность для использования методов кодирования компонент трансформант и выявления более сложных их статистических зависимостей. Это позволяет увеличить степень сокращаемого объема видеоданных.

4) для относительно малых размеров массивов преобразуемых видеоданных выигрыш по степени сокращения статистической избыточности оказывается на стороне дискретного косинусного преобразования.

Причем разделение изображений на блоки меньших размеров обеспечивает снижение количества операций на выполнение трансформирования.

Выполнение дискретного косинусного преобразования позволяет достичь перетрансформирование энергии исходного сигнала и получить трансформанту со следующими свойствами [4]:

- компонента в верхнем левом углу трансформанты имеет значение пропорциональное средней яркости фрагмента изображения;

- значения компонент ДКП уменьшаются по диагональному зигзагу слева - направо, сверху - вниз. При этом компоненты левой верхней области трансформанты характеризуют степень насыщенности блока изображения низкочастотными перепадами и содержат в себе основную энергию исходного сигнала. Наоборот значения компонент в нижней правой области трансформанты зависят от степени насыщенности блока изображения мелкими деталями и импульсными всплесками и содержат меньшее количество энергии исходного сигнала;

- дискретное косинусное преобразование имеет глобальную структуру базисных функций. Значит, учитывают интегрированную по всему фрагменту взаимную корреляцию, что позволяет учитывать более глубокие статистические зависимости;

- между компонентами трансформант ДКП, полученных для реалистических изображений, существует статистическая зависимость.

Такие свойства трансформант ДКП создают широкие возможности для устранения пространственной избыточности, обусловленной учетом психовизуальных особенностей ЛПР и наличием статистических взаимосвязей.

Кроме того, в случае трансформирования изображений на основе ДКП существуют возможности для снижения количества операций, затрачиваемых на обработку при незначительном уменьшении выявления статистических взаимосвязей. Поэтому предлагается в качестве базового элемента для трансформирования изображений использовать дискретное косинусное преобразование.

Избыточность в трансформантах ДКП сокращается в результате использования методов кодирования (вторая составляющая технологии JPEG).

Основное количество пространственной избыточности в трансформанте обусловлено концентрацией основной энергии исходного сигнала в низкочастотных компонентах. Информация о мелких деталях формируется в высокочастотных компонентах трансформанты дискретного косинусного преобразования, значения которых зачастую близки к нулевому. Такие детали на правильное восприятие зрительной системой, оказывают не существенное влияние.

В существующих подходах для кодирования компонент  $z_{\xi,\chi}''$  трансформант используется неравномерное кодирование. На представление низкочастотных компонент отводится наибольшее количество разрядов. На представление высокочастотных компонент затрачивается меньшее количество двоичных разрядов. За счет неравномерных затрат количества разрядов на компоненты трансформант обеспечивается сокращение первоначального  $V$  цифрового объема трансформанты, т.е.  $\eta = v/v_c > 1$  [3 - 4].

Для сокращения психовизуальной избыточности используется диагональная квантизация компонент за счет поэлементного деления компонент трансформанты на матрицу квантизации. Однако при больших значениях фактора качества потери в низких частотах могут быть настолько велики, что изображение распадется на квадраты. Потери в высоких частотах могут проявиться в так называемом эффекте Гиббса, когда вокруг контуров с резким переходом цвета образуется своеобразный "нимб". Отсюда рассматриваемая обработка трансформант сопровождается внесением потерь качества визуализации изображений.

Существует два основных подхода к построению процесса кодирования для исключения избыточности в трансформантах.

Первый подход основывается на выявлении зависимостей в самих компонентах трансформанты. Для чего используется неравномерность значений компонент трансформанты и наличие нулевых компонент. Трансформанта заменяется совокупностью пар  $\{z_\alpha, v_\alpha\}$ , где  $z_\alpha$ ,  $v_\alpha$  - соответственно значение  $\alpha$ -й компоненты развернутой трансформанты и количество нулевых компонент, следующих за ней. Для увеличения длины серии нулевых компонент трансформанта разворачивается в последовательность при помощи "зиг-заг"-сканирования. Сжатие компонент и длин нулевых серий достигается в результате статистического кодирования. В этом случае сокращается статистическая избыточность в компонентах трансформанты и в длинах серий нулевых компонент.

Проведем анализ недостатков рассмотренной технологии кодирования компонент трансформант дискретного косинусного преобразования. Уровень снижаемого объема видеоданных будет недостаточным по следующим причинам:

1. Количества серий нулевых компонент и значений их длин. Чем больше длина серии нулевых компонент, тем меньше количество пар. Однако в процессе преобразования средне - и сильнонасыщенных реалистических изображений повышается энергия в высокочастотных компонентах, и нарушается «зиг-заг» образная тенденция

уменьшения значений компонент ортогональных преобразований. Это приводит к уменьшению длины нулевых цепочек, а следовательно, понижает коэффициент сжатия вплоть до увеличения объема исходного изображения;

2. В результате декорреляции на этапе выполнения ДКП снижается статистическая зависимость. Это приводит к тому, что энтропии оценивается не для источника Маркова, а для источника Бернулли. Следовательно, сокращаются потенциальные возможности для обеспечения степени сжатия данных.

3. Для небольших длин нулевых цепочек характерно равномерное распределение отдельных элементов. Равномерное распределение также характерно и для ненулевых компонент трансформанты. Поэтому статистическое кодирование не обеспечивает дополнительного сжатия трансформанты.

4. Нарушение статистической модели приводит к тому, что часто встречаемым данным будет присваиваться более длинные кодовые комбинации. Построение более точных адаптивных вероятностно-статистических моделей компонент трансформант приводит к: увеличению времени на обработку и к росту количества разрядов на представление служебной информации.

5. Адаптивный код Хаффмана и арифметические коды для неравномерного представления ненулевых компонент и длин серий вызывают: повышение сложности программной и технической реализации в связи с необходимостью синхронизации и маркировки неравномерных кодовых комбинаций; вычисление статистики, построение кодовых таблиц и организации двойного прохода по обрабатываемым данным, необходимость хранения кодовых таблиц и разделяющих маркеров, снижающих степень сжатия статистическими кодами.

Поэтому такой подход хорошо работает после этапа квантизации т.е. нелинейного сокращения динамического диапазона. В результате чего увеличивается степень неравномерности распределения компонент трансформант и увеличивается средняя длина серии. Однако большая степень сжатия достигается в основном за счет сокращения психовизуальной избыточности, что приводит к потере качества восстановленных изображений.

Отсюда следует:

- неэффективность рассмотренной технологии кодирования компонент трансформант в случае обеспечения необходимой степени достоверности восстанавливаемых изображений;

- степень сжатия в режиме ограниченных потерь качества сильно зависит от класса изображений, т.е. степени насыщенности изображения мелкими деталями различного цвета.

Это ведет к:

- 1) ограниченности степени сокращения объемов видеоданных на основе методов JPEG в режиме, когда пиковое отношение сигнал/шум на уровне 50дБ;

- 2) недостаточному сокращению объема при обработке сильнокогерентных изображений.

Значит, для повышения степени сжатия видеоданных на основе технологий компрессии изображений с потерей качества необходимо совершенствовать методы кодирования трансформант, обеспечивающие: повышение степени компрессии с затратами такого количества операций, при котором обработка будет осуществляться в реальном времени.

Для выхода из такой ситуации предлагается использовать второе направление реализации процесса сокращения избыточности в трансформантах дискретного косинусного преобразований. Вторым подходом базируется на организации кодирования битовых плоскостей. В этом случае учитываются особенности компонент трансформант как то, что битовое представление компонент трансформант содержит зоны нулевых элементов. Для компонент соответствующих низкочастотным составляющим нулевые зоны размещаются в середине и в конце двоичного представления. Наоборот, для высокочастотных компонент характерно размещение нулевых зон в начале двоичного представления. Причем компоненты трансформанты с большими значениями сконцентрированы в относительно малой области трансформанты, наоборот компоненты с минимальными значениями занимают большую площадь трансформанты. Значит, для битовых плоскостей трансформант будет характерно наличие областей, содержащих большое количество нулевых двоичных элементов.

Преимущества технологии кодирования битовых плоскостей трансформант относительно технологии непосредственного кодирования компонент трансформант состоят в том, что:

- 1) обеспечивается возможность улучшить характеристики технологии сжатия не вызывая необходимости коренных, а значит и дорогостоящих изменений в технологическом процессе;

- 2) существует возможность выявления пространственной избыточности статистического и психовизуального типов в большем количестве;

- 3) большое количество нулевых областей распределенных на различных позициях битовых плоскостей.

## Заключение

1. Обосновано, что в качестве базового направления для дальнейшего развития технологий компрессии необходимо использовать метод сжатия JPEG, позволяющий: сокращать объем реалистических изображений в режиме наличия ограниченных потерь

их качества; учитывать в процессе сжатия возможность сокращения психовизуальной избыточности, обусловленной особенностями восприятия изображений лицом принимающим решения, и пространственной избыточности, обусловленной наличием когерентных областей изображения.

2. Показано, что обработка трансформант на основе непосредственного кодирования их компонент эффективно работает после этапа квантизации т.е. нелинейного сокращения динамического диапазона, что приводит к потери качества восстановленных изображений. Отсюда следует: неэффективность рассмотренной технологии кодирования компонент трансформант в случае обеспечения необходимой степени достоверности восстанавливаемых изображений.

3. Обоснована необходимость дальнейшего совершенствования методов компрессии в рамках формата JPEG на основе использования технологии кодирования битового описания трансформант. Выявлены преимущества технологии кодирования битовых плоскостей трансформант относительно технологии непосредственного кодирования компонент трансформант, которые состоят в том, что:

1) обеспечивается возможность улучшить характеристики технологии сжатия не вызывая необходимости коренных, а значит и дорогостоящих изменений в технологическом процессе;

2) существует возможность выявления пространственной избыточности статистического и психовизуального типов в большем количестве;

3) большое количество нулевых областей распределенных на различных позициях битовых плоскостей.

### Литература

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2006. - 958 с.
2. Gonzales R.C. Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. - Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey 2002. - 779 p.
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. - М: Техносфера, 2004. - 368 с.
4. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков - Х.: ХУПС, 2010. - 212 с.

### Резюме

Показано, що для підвищення ефективності процесу доставки відеоінформації високої роздільної здатності необхідно проводити вдосконалення систем компресії в рамках технологій стиснення з наявністю обмежених втрат якості візуалізації зображень.

Обґрунтовується необхідність подальшого вдосконалення методів компресії в рамках формату JPEG на основі використання технології кодування бітового опису трансформант.

**Ключові слова:** якість візуалізації зображень, бітове представлення трансформант

It has been demonstrated that to increase the efficiency of the process of high resolution video data delivery it is necessary to conduct the compression system upgrading within the framework of compression technologies with the presence of limited image visualization quality losses. The necessity of further compression methods upgrading within the framework of JPEG format on the basis of the use of the technology of bit description encoding of transforms is grounded.

**Key words:** image visualization quality, bit presentation of transforms

Рецензент д.т.н., професор Хаханов В.И. (ХНУРЕ)

*Поступила 12.03.2013*