Методология сокращения избыточности в трансформированных изображениях

Национальный авиационный университет

Ключевые слова: трансформация изображений, сокращение избыточности, битовое кодирование

Ключові слова: трансформування зображень, скорочення надмірності, бітове кодування

Keywords: picture transformation, redundancy decreasing, bit coding

1. Введение

В настоящее время дальнейшее развитие инфокоммуникационных систем связывается с организацией своевременного и гарантированного доведения трех видов данных: компьютерные данные, аудиоданные и видеоданные. Наиболее проблематичными являются вопросы доставки оцифрованных изображений, которые имеют значительные объемы в битовом измерении. Это создает трудности в своевременной передаче видеоданных с заданным уровнем достоверности. Отсюда вытекает **научно-прикладная задача**, заключающаяся в повышении оперативности доставки видеоданных с использованием телекоммуникационных систем. Направление решения данной задачи состоит в интеграции методов сжатия изображений. Используемые на данный момент времени подходы относительно компрессии видеоданных не удовлетворяют заданным требованиям [1 - 5]. Эффективное направление построения систем сжатия базируется на основе использовании трансформации изображений [3 - 4].

Однако технологии, сжатия трансформант, за счет сокращения различных видов избыточности не получили должного развития и не имеют достаточно проработанной методологической базы. Поэтому **актуальной тематикой исследований** является системное обоснование подхода относительно сокращения избыточности в трансформированных изображениях.

2. Основной материал исследований

Технология сжатия изображений на основе их трансформирования реализована в таких форматах как JPEG, JPEG-LS, JPEG2000. Процесс сжатия заключается в проведении комплексной обработки, состоящей из двух основных технологических этапов [2 - 5]:

Этап 1 - подготовительный этап. Данный этап выполняется для получения промежуточной структуры представления исходных видеоданных, обеспечивающей потенциальную возможность для: сокращения психовизуальной избыточности с учетом регулирования уровня качества восстанавливаемых изображений; реализации нескольких технологий кодирования, позволяющих сжать трансформанты без внесения потерь. Для этого над исходными массивами изображений выполняются последовательно два вида преобразований. В результате чего достигается перетрансформирования энергии исходного сигнала и ее скопление в определенных составляющих. Первый вид преобразования состоит в смене цветового пространства изображения. В случае представления изображения цветоразностной моделью основную информационную нагрузку с позиции его воспри-

ятия 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 C_r , C_b или U , V . Вторым видом преобразования, связанным с перетрансформированием энергии исходного сигнала, заключается в аппроксимации видеоданных базисами ортогональных или wavelet преобразований. Предлагается в качестве базисов аппроксимации видеоданных использовать дискретное косинусное преобразование (dct). Выбор dct в качестве базового ортогонального преобразования, обосновывается следующими причинами:

- 1) dct-преобразование является наиболее близким по характеристикам к преобразованию Корнунэна-Лоэва (ПКЛ) в плане декорреляции;
- 2) сжатие на основе dct обеспечивает лучшие характеристики при обработке оптических изображений, текстурных участков изображений, плавных переходов, сигналов гауссовской природы;
- 3) процессы сжатия изображений на основе dct-преобразования и на основе wavelet-преобразования (dwt) обеспечивают близкие в статистическом плане значения по коэффициенту сжатия и по пиковому отношению сигнал/шум;
- 4) на вычисление dct затрачивается меньшее количество машинных операций, чем на dwt;
- 5) выигрыш по времени выполнения преобразования создает возможность для использования более сложной в вычислительном плане технологии кодирования, что очевидно обладает дополнительными потенциальными преимуществами относительно сокращения избыточности.

Гармонический анализ не имеет пространственной локализации, поскольку не имеют пространственной локализации гармонические функции. Поэтому перед выполнением преобразования цветовая плоскость изображения разделяется на массивы размером $q_\ell \times q_c$ [2 - 5]. Разделение на массивы проводится для: снижения количества операций на обработку; повышения степени когерентности обрабатываемых данных. Выполнение dct-преобразования реализуется на основе следующего выражения: $C(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell} F^T(\ell)$, где $X(i, j)_{k, \ell}$ – массив видеоданных, образованный на базе одной из плоскостей цветоразностной модели изображения; k, ℓ – соответственно индекс строки и столбца элемента массива $X(i, j)_{k, \ell}$, $k = \overline{1, q_\ell}$; $\ell = \overline{1, q_c}$; $C(k, \ell)$ – матрица компонент трансформанты dct-преобразования массива видеоданных; $F(k)$, $F^T(\ell)$ – соответственно вектор дискретных значений базисных функций dct и его транспонированный вид. Двухпроходная реализация двумерного dct имеет вид:

1) на первом проходе выполняется одномерное дискретное косинусное преобразование столбцов массива видеоданных. Формируется промежуточный массив $H(k, \ell)$: $H(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell}$, где $H(k, \ell)$ – промежуточный массив размерности $q_\ell \times q_c$;

2) второй проход связан с выполнением одномерного dct для строк промежуточного массива $H(k, \ell)$: $C(k, \ell) = H(k, \ell) F^T(\ell)$. Данные соотношения позволяют сформировать трансформированное представление $C(k, \ell)$ изображений на основе двухпроходной схемы выполнения ортогонального преобразования. Трансформанта C компонент dct-преобразования имеет вид $C = \{c_{k, \ell}\}$, $q_\ell = q_c = \overline{1, (Q_\ell Q_c / q_\ell q_c)}$, где $c_{k, \ell}$ – компонента расположенная в трансформанте на

пересечении k -й строки и ℓ -го столбца; $(Q_\ell Q_c / q_\ell q_c)$ - количество трансформант размером $q_\ell \times q_c$, которое формируется для изображения, содержащего $Q_\ell \times Q_c$ элементов.

Трансформанта дискретного косинусного преобразования имеет следующие особенности [2 - 5]:

1) значение компоненты в верхнем левом углу трансформанты с координатами $(1; 1)$ пропорционально средней яркости локального фрагмента изображения;

2) компоненты левой верхней области трансформанты характеризуют степень насыщенности блока изображения низкочастотными перепадами. К низкочастотным перепадам относят плавные и ступенчатые изменения уровня яркости или координаты цвета. Поскольку данные особенности являются преобладающими, то основная энергия (компоненты с наибольшими значениями) сконцентрирована именно в этой области трансформанты;

3) значения компонент в нижней правой области трансформанты зависят от степени насыщенности блока изображения мелкими деталям и импульсными всплесками. Для средненасыщенных реалистических изображений высокочастотные перепады являются не характерными. Это приводит к тому, что в данной области трансформанты содержится меньшее количество энергии исходного сигнала, а соответственно компоненты имеют наименьшие значения;

4) значения компонент dct-преобразования уменьшаются по диагональному зигзагу слева - направо, сверху - вниз;

5) дискретное косинусное преобразование использует укрупненную по всему блоку статистику данных, а значит и интегрированную взаимную корреляцию. Коэффициент взаимной корреляции будет близок к 0,9. Это позволяет для широкого класса изображений получать трансформанты dct со следующими свойствами: компоненты трансформанты с большими значениями сконцентрированы в относительно малой области трансформанты, наоборот компоненты с минимальными значениями занимают большую площадь трансформанты;

6) поскольку статистические характеристики видеоданных отличаются от гауссовских процессов, то между компонентами трансформант dct-преобразования существует статистическая зависимость;

7) двоичные представления компонент трансформант содержат зоны нулевых элементов. Причем размещение и длина нулевых зон зависит от координаты соответствующей компоненты в трансформанте. 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.

В зависимости от учета в процессе обработки трансформант той или иной ее особенности формируется конкретная технология кодирования для исключения избыточности. Такой процесс реализуется на втором этапе обработки трансформированных изображений.

Второй этап технологии сжатия видеоданных связан с построением методов кодирования, обеспечивающих сокращение избыточности в трансформантах дискретного косинусного преобразования. Главной отличительной особенностью процесса устранения избыточности в трансформированных изображениях состоит в учете концентрации основной энергии исходного сигнала в низкочастотных компонентах. Это позволяет организовывать обработку в двух режимах. Первый - режим сжатия без потерь. В этом случае стоит задача, не искажая информации, содержащейся в изображении, найти способ закодиро-

вать его меньшим числом бит. Для второго режима допускается возможность пожертвования частью информации, которая «не существенна» для представления данных. Такой подход является сутью режима сжатия с потерями. Значит допускается возможность выбора между степенью сжатия и качеством восстановленной информации. Наибольшая степень сжатия при обработке трансформированных изображений достигается в режиме сжатия с потерями качества. В этом случае учитывается особенность зрительной системы, состоящей в том, что основная информация в изображениях содержится в крупных деталях, контурах. Основная часть такой информации содержится в низкочастотных компонентах трансформанты, имеющих большие значения (используется свойство когерентности). Идея когерентности областей заключается в малом изменении цвета и структуры на небольшом участке изображения. Наоборот мелкие детали на правильное восприятие зрительной системой, оказывают не существенное влияние. Информация о мелких деталях формируется в высокочастотных компонентах трансформанты дискретного косинусного преобразования, значения которых зачастую близки к нулевому. Данный подход относительно классификации компонент трансформанты dct-преобразования формируется на основе того, что частоте в некотором смысле соответствует понятие «уровень детализации». Для исключения избыточности в трансформанте dct-преобразования на основе использования такой ее особенности предлагается осуществлять неравномерное кодирование компонент $c_{k\ell}$. На представление низкочастотных компонент отводится наибольшее количество разрядов $q_{bp}^{(\ell)}$: $q_{bp}^{(\ell)} \rightarrow \ell \log_2 c_{k_\ell, \psi_\ell}$, где $q_{bp}^{(\ell)}$ - количество разрядов для низкочастотных (low frequency) компонент трансформант dct-преобразования; k_ℓ, ψ_ℓ - координаты низкочастотных компонент в трансформанте. Наоборот на представление высокочастотных компонент (расположенных в нижнем правом углу трансформанты) затрачивается наименьшее количество двоичных разрядов $q_{bp}^{(h)}$: $q_{bp}^{(h)} < \ell \log_2 c_{k_h, \psi_h}$, где $q_{bp}^{(h)}$ - количество разрядов для высокочастотных (high-frequency) компонент трансформант; k_h, ψ_h - координаты высокочастотных компонент в трансформанте.

Понятно, что за счет неравномерных затрат количества разрядов на компоненты трансформант обеспечивается сокращение первоначального w цифрового объема трансформанты

$$\eta_c^{(1)} = w / w_c = q_\ell q_c q_{bp} / \sum_{k=1}^{q_\ell} \sum_{\psi=1}^{q_c} q(c_{k,\psi})_{bp} > 1, \quad (1)$$

где $\eta_c^{(1)}$ - коэффициент сжатия трансформанты за счет неравномерного битового распределения ее компонент; w, w_c - суммарное количество разрядов, отводимое на представление трансформанты до и после их классификации по частотному признаку

$$w = q_\ell q_c q_{bp}; \quad w_c = \sum_{k=1}^{q_\ell} \sum_{\psi=1}^{q_c} q(c_{k,\psi})_{bp}; \quad (2)$$

q_{bp} - количество разрядов на компоненту трансформанты до классификации; $q(c_{k,\psi})_{bp}$ - количество разрядов на компоненту $c_{k,\psi}$ после классификации трансформанты.

Условие (1) выполняется поскольку $q(c_{k,\psi})_{bp} \leq q_{bp}$.

Существуют различные стратегии реализации неравномерного битового распределения компонент трансформанты [3 - 5]. Среди них наиболее проработанными являются:

1) зональное и пороговое кодирование компонент трансформант. В первом случае величина $q(c_{k,\psi})_{bp}$ выбирается по зонному принципу, т.е. в зависимости от позиции компоненты в трансформанте. Чем ближе зона к верхнему левому углу трансформанты, тем большим количеством разрядов описывается соответствующая компонента. Во втором случае компоненты классифицируются пороговым уровнем. В крайнем случае, если для некоторых зон (зонное кодирование) и значений нижних порогов (пороговое кодирование) проводить обнуление компонент, т.е. $q(c_{k,\psi})_{bp} = 0$, то получим стратегии соответственно зонного и порогового отбора;

2) стратегия диагональной квантизации компонент. В принципе это просто поэлементное деление компонент трансформанты на матрицу квантизации. Для каждой компоненты цветовой плоскости Y, U, V в общем случае задается своя матрица квантизации (МК) $q[k;\psi]$. Новое значение компоненты c_{kl} трансформанты после квантизации определяется соотношением $c'_{kl} = [(c_{kl} / q[k;\psi])]$, где c'_{kl} - целое значение квантизированной компоненты.

Задавая матрицу квантизации с большими коэффициентами, мы получим: снижение динамического диапазона компонент; больше нулевых компонент трансформанты. Отсюда уменьшается количество разрядов $q(c_{k,\psi})_{bp}$, затрачиваемое на представление компоненты. Следовательно, в соответствии с формулой (1), повышаются потенциальные возможности относительно дополнительного увеличения степени сжатия. В стандартах JPEG и JPEG2000 включены рекомендованные МК, построенные опытным путем. Рассчитанные в компрессоре оптимальные коэффициенты квантизации передаются в декомпрессор для однозначной распаковки. Одной из возможных реализаций этапа квантизации является отбрасывание младших битов компонент трансформанты. С квантизацией связаны и специфические эффекты алгоритма. При больших значениях коэффициента q потери в низких частотах могут быть настолько велики, что изображение распадется на квадраты 8x8. Потери в высоких частотах могут проявиться в так называемом эффекте Гиббса, когда вокруг контуров с резким переходом цвета образуется своеобразный "нимб". Значит рассматриваемая обработка трансформант сопровождается внесением потерь качества изображений. Поскольку выполнение условия (1), т.е. обеспечение сжатия, достигается с учетом психовизуальных особенностей восприятия изображений зрительной системой, то устраняемая избыточность является психовизуальной.

Режим сжатия без потери качества реализуется без квантизации компонент трансформант. Существует два основных подхода к построению процесса кодирования для исключения избыточности в трансформантах. Первый подход основывается на выявлении зависимостей в самих компонентах трансформанты. Используется неравномерность значений компонент трансформанты и наличие нулевых компонент. Трансформанта заменяется совокупностью пар $\{c_\alpha, \ell_\alpha\}$, где c_α , ℓ_α - соответственно значение α -й компоненты развернутой трансформанты и количества нулевых компонент, следующих за ней; n_α - количество пар $\{c_\alpha, \ell_\alpha\}$, т.е. $\alpha = \overline{1, n_\alpha}$.

Определение. Набор идущих подряд точек изображения одного цвета называется серией. Длина этого набора точек называется длиной серии.

Для увеличения длины серии l_{α} нулевых компонент предлагается разворачивать трансформанту в $q_{\ell} q_c$ -компонентный вектор при помощи "зиг-заг"-сканирования. Сжатие компонент и длин нулевых серий достигается в результате арифметического кодирования. В этом случае сокращается статистическая избыточность в компонентах трансформанты и в длинах серий нулевых компонент. Коэффициент сжатия $\eta_c^{(2)}$ находится по формуле

$$\eta_c^{(2)} = w / w_c^{(2)} = q_{\ell} q_c q_{bp} (w_{ct} + w_{ls}), \quad (3)$$

где $\eta_c^{(2)}$ - коэффициент сжатия трансформанты за счет арифметического кодирования компонент и длин серий нулевых компонент; w_{ct} , w_{ls} - суммарное количество разрядов в арифметических кодовых конструкциях сформированных соответственно для компонент трансформанты и длин серий нулевых компонент.

Нижней границей величин w_{ct} и w_{ls} как длин арифметических кодов будет количество информации для соответствующей статистической модели. В качестве статистической модели выбирается модель Маркова первого порядка. Учитываются зависимости между двумя элементами. Энтропии такого источника (количество информации в одном элементе) для компонент трансформант H_{ct} и длин серий нулевых компонент H_{ls} определяются соответственно по формулам [2 - 3]:

$$H_{ct} = - \sum_{\alpha_1=1}^{m_c} \sum_{\alpha_2=1}^{m_c} P(c_{\alpha_1}; c_{\alpha_2}) \log_2 P(c_{\alpha_1} | c_{\alpha_2}); \quad (4)$$

$$H_{ls} = - \sum_{\alpha_1=1}^{m_l} \sum_{\alpha_2=1}^{m_l} P(l_{\alpha_1}; l_{\alpha_2}) \log_2 P(l_{\alpha_1} | l_{\alpha_2}), \quad (5)$$

где m_c - мощность алфавита (количество различных значений), составленного из компонент трансформант, $m_c \leq n_{\alpha}$; m_l - мощность алфавита, составленного из длин серий нулевых компонент трансформанты, $m_l \leq n_{\alpha}$; $P(c_{\alpha_1}; c_{\alpha_2})$ - вероятность появления пары $(c_{\alpha_1}; c_{\alpha_2})$, вычисляется как произведение вероятностей $P(c_{\alpha_1})$ появления компоненты c_{α_1} и $P(c_{\alpha_2} | c_{\alpha_1})$ появления компоненты c_{α_2} после c_{α_1} ; $P(c_{\alpha_1} | c_{\alpha_2})$ - условная вероятность появления компоненты c_{α_1} после c_{α_2} ; $P(l_{\alpha_1}; l_{\alpha_2})$ - вероятность появления пары $(l_{\alpha_1}; l_{\alpha_2})$, вычисляется как произведение вероятностей $P(l_{\alpha_1})$ появления длины серии l_{α_1} и $P(l_{\alpha_2} | l_{\alpha_1})$ появления компоненты l_{α_2} после l_{α_1} ; $P(l_{\alpha_1} | l_{\alpha_2})$ - условная вероятность появления компоненты l_{α_1} после l_{α_2} .

С учетом нижних границ величин w_{ct} и w_{ls} , задаваемых соотношениями (4) и (10), максимальное значение коэффициента сжатия будет равно $\eta(\max)_c^{(2)}$:

$$\eta(\max)_c^{(2)} = q_{\ell} q_c q_{bp} / n_{\alpha} (H_{ct} + H_{ls}). \quad (6)$$

Определим зависимость количества информации H'_{ls} , приходящуюся на одну длину серии нулевых компонент трансформанты, в зависимости статистических характеристик их последовательности. В качестве закона распределения длин серий предлагается использовать геометрический закон. Выбор геометрического закона для описания распределения длин нулевых компонент обусловлен тем, что [2 - 5]:

1) геометрический закон является наиболее адекватным для описания длин последовательности нулевых компонент для трансформант, полученных для широкого класса изображений. В этом случае взаимосвязь между соседними элементами практически отсутствует;

2) для такого варианта последовательности длин серий формируются по схеме Бернулли, для которой не учитывается взаимосвязь между соседними элементами, т.е. получаем источник сообщений без памяти. Отсюда выполняется неравенство $H'_{1s} \geq H_{1s}$, а следовательно, обеспечивается возможность для оценки максимальной границы коэффициента сжатия длин цепочки нулевых компонент трансформанты.

Для геометрического закона распределения соответствуют следующие ограничения: - обнаружение начала серии нулевых компонент есть событие взаимонезависимые и равновероятные. Вероятность появления серии нулевых компонент является величиной постоянной и равной p ; в пределах локальных областей изображений статистические характеристики не изменяются. С учетом первого ограничения вероятность события $P(\ell_\alpha = u)$, состоящего в том, что значение длины серии ℓ_α равная значению u , не будет зависеть от вероятностей предыдущих событий, вычисляется по формуле

$$P(\ell_1 = u, \dots, \ell_\alpha = u, \dots, \ell_{n_\alpha} = u) = \prod_{\alpha=1}^{n_\alpha} P(\ell_\alpha = u), \quad (7)$$

где $\ell_\alpha = u$ - событие, состоящее в том, что величина ℓ_α примет значение u ;

$P(\ell_1 = u, \dots, \ell_\alpha = u, \dots, \ell_{n_\alpha} = u)$ - вероятность события, заключающегося в том, что в последовательности из n_α испытаний значения всех длин серий равны u .

При обработке трансформант значение длины серии нулевых компонент не будет превышать величины $q_\ell q_c$, $\ell_\alpha < q_\ell q_c$. В общем случае максимальное значение величины ℓ_α будет ограничено значением L . Тогда вероятность $P(\ell_\alpha = u)$ будет равна [2 - 4]:

$$P(\ell_\alpha = u) = \begin{cases} q^{u-1} p, & \rightarrow u < L; \\ q^{L-1}, & \rightarrow u = L, \end{cases} \quad (8)$$

где q – вероятность отсутствия цветового перепада, а $p=1-q$.

Оценим энтропию H'_{1s} с учетом принятых ограничений и для вероятности $P(\ell_\alpha = u)$, вычисляемой по формуле (8), как:

$$H'_{1s} = -(1 - q^{L-1})(p \log_2 p + q \log_2 q) / p. \quad (9)$$

Данное соотношение позволяет вычислить H'_{1s} в случае геометрического закона распределения длин серий нулевых компонент по известному значению вероятности p появления нулевых компонент.

Заменив в соотношении (9) величины энтропии H_{ct} и H'_{1s} соответственно формулами (5) и (9), получим выражения для оценки максимального значения коэффициента сжатия $\eta(\max)_c^{(2)}$:

$$\eta(\max)_c^{(2)} = \frac{q_\ell q_c q_{bp}}{-n_\alpha \left(\sum_{\alpha_1=1}^{m_c} \sum_{\alpha_2=1}^{m_c} P(c_{\alpha_1}; c_{\alpha_2}) \log_2 P(c_{\alpha_1} | c_{\alpha_2}) \right) + \frac{(1 - q^{L-1})}{p} (\log_2 p + \frac{q}{p} \log_2 q)}. \quad (10)$$

Проведем анализ недостатков рассмотренной технологии кодирования компонент трансформант dct -преобразования, используя выражение (10).

Величина коэффициента сжатия $\eta_{(\max)_c}^{(2)}$ зависит от:

1) количества серий нулевых компонент и значений их длин. Чем больше длина серии нулевых компонент, тем меньше величина n_α . Понятно, что сокращается количество ненулевых компонент, а, следовательно, и количество разрядов на их представление. В тоже время при трансформации 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) статистических характеристик последовательности ненулевых компонент и длин цепочек нулевых компонент. В тоже время: в результате декорреляции (на этапе выполнения dct -преобразования) снизилась статистическая зависимость (а для нормально распределенных видеоданных статистическая зависимость отсутствует). Это приводит к тому, что энтропии H_{ct} оценивается не для источника Маркова, а для источника Бернулли. Следовательно, сокращаются потенциальные возможности для обеспечения степени сжатия данных; для небольших длин нулевых цепочек характерно равномерное распределение отдельных элементов. Равномерное распределение также характерно и для ненулевых компонент трансформанты. Поэтому статистическое кодирование не обеспечивают дополнительного сжатия трансформанты;

3) точности выбора статистической модели ненулевых компонент и длин серий нулевых компонент. 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. На сегодняшний момент эффективность статистических методов по степени сжатия практически достигла своего максимального уровня. Избыточность статистических кодов относительно энтропии Марковского источника не превышает в среднем 10% – 20%;

4) особенностей статистических кодов. Однако адаптивный код Хаффмана и арифметические коды для неравномерного представления ненулевых компонент и длин серий вызывают: повышение сложности программной и технической реализации; в случае адаптивного кодирования Хаффмана для каждой трансформанты вычисление статистики, построении кодовых таблиц и организации двойного прохода по обрабатываемым данным, а при восстановлении весь фрагмент будет восстановлен только после перекодировки всех неравномерных кодовых слов. Это приводит к повышению времени обработки в особенности для средне- и сильнонасыщенных изображений; необходимость хранения кодовых таблиц и разделяющих маркеров, снижающих степень сжатия статистическими кодами; низкую помехоустойчивость кодов длин серий и статистических кодов к ошибкам в каналах связи.

Поэтому такой подход хорошо работает после этапа квантизации. Однако большая степень сжатия достигается в основном за счет сокращения психовизуальной избыточности, что приводит к потере контроля за качеством восстанов-

ленных изображений. Отсюда следует: неэффективность рассмотренной технологии кодирования компонент трансформант в случае обеспечения необходимой степени достоверности восстанавливаемых изображений; степень сжатия в режиме регулируемых потерь качества сильно зависит от класса изображений.

Для выхода из такой ситуации предлагается использовать второе направление технологической реализации процесса сокращения избыточности в трансформантах dct и dwt преобразований. Вторым подходом базируется на организации кодирования битовых плоскостей. В этом случае учитываются такие особенности компонент трансформант для широкого класса изображений 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. Для высокочастотных компонент характерно размещение нулевых зон в начале двоичного представления. 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) такая схема является реализуемой в технологическом плане. Следовательно, ее модификация, позволяющая существенно улучшить характеристики технологии сжатия не вызывает необходимости коренных изменений в технологическом процессе;

2) такая обработка наиболее интересна с позиции обработки сильнонасыщенных реалистических изображений. Так как в этом случае существует возможность выявления большего количества закономерностей. Это в свою очередь создает потенциальные возможности для повышения степени сжатия;

3) формат JPEG-LS работает без этапа выполнения ортогонального преобразования. И там используется битовая обработка. Значит развитие методов битовой обработки трансформант позволяет обеспечить свою интеграцию для различных форматах сжатия так и для различных режимов сжатия. Следовательно, обеспечивается инструмент для расширения возможностей форматов представления изображений;

4) большое количество нулевых областей распределенных на различных позициях битовых плоскостей;

5) возможность реализации технологии прогрессивного JPEG. Обработке и передаче в начале подвергаются старшие разрядные плоскости трансформанты, а затем поэтапно младшие битовые плоскости. Это обеспечивает возможность быстрой передачи грубых форм изображений с постепенным добавлением уточняющей информации;

6) возможностью кодирования гиперспектральных изображений (массивов изображений полученных для различных спектральных диапазонов). Спектрально-нальное изображение представляется двоичным кубом. При этом возникает проблема большого битового объема;

7) обеспечивается реализация режима квантизации компонент трансформанты за счет обнуления или отбрасывания битовых плоскостей, содержащих младшие разряды.

2. Выводы

Обоснован подход относительно сокращения избыточности в трансформированных изображениях, базирующийся на кодировании битовых плоскостей, сформированных для двоичного представления компонент трансформант. Такое обоснование базируется на:

1) недостатках технологии непосредственно кодирования компонент трансформант, связанных с: неэффективностью рассмотренной технологии кодирования компонент трансформант в случае обеспечения необходимой степени достоверности восстанавливаемых изображений; тем, что степень сжатия в режиме регулируемых потерь качества сильно зависит от класса изображений (степени насыщенности изображения мелкими деталями различного цвета).

2) преимуществах технологии кодирования битовых плоскостей трансформант относительно технологии непосредственного кодирования компонент трансформант, которые состоят в том, что она: является реализуемой в технологическом плане. Следовательно, ее модификация, позволяющая существенно улучшить характеристики технологии сжатия не вызывает необходимости коренных изменений в технологическом процессе; в этом случае существует возможность выявления большего количества закономерностей. Это в свою очередь создает потенциальные возможности для повышения степени сжатия относительно обработки с учетом абсолютных значений компонент; допускает свою интеграцию как для различных форматах сжатия, так и для различных режимов сжатия. Следовательно, обеспечивается инструмент для расширения возможностей форматов представления изображений; учитывает наличие большого количества нулевых областей распределенных на различных позициях битовых плоскостей; обеспечивает возможность быстрой передачи грубых форм изображений с постепенным добавлением уточняющей информации; обладает возможностью кодирования гиперспектральных изображений; обеспечивается реализация режима квантизации компонент трансформанты за счет обнуления или отбрасывания битовых плоскостей, содержащих младшие разряды.

Список литературы

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. / Дж. Уолрэнд. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.
3. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет – преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – СПб.: ВУС, 1999. – 203 с.
4. Королев А.В. Версификационная избыточность изображений / А.В. Королев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 2. – С. 26 – 30.
5. Баранник В.В. Метод сжатия изображений комбинированным полиадическим кодированием/ В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – №2. – С. 66 – 69.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Стасев Ю.В., Харьковский университет Воздушных Сил Имени Ивана Кожедуба, Харьков.

Поступила в редколлегию 13.03.09