

КОДИРОВАНИЕ ЗНАЧИМЫХ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ

*БАРАННИК В.В., КРИВОНОС В.Н.,
ХАХАНОВА А.В.*

Осуществляется выбор дальнейшего развития технологий компрессии трансформированных изображений в области компонентного представления. Обосновывается модель описания значимых компонент трансформанты на основе позиционных чисел с неравными соседними элементами. Излагаются этапы позиционного кодирования для сокращения объема на представление значимых компонент трансформанты. Для этого формируется система кодирующих выражений для сжатия без потери достоверности и целостности видеoinформационных ресурсов.

1. Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Особенности развития современного общества таковы, что зависят от возросшего потребления видеoinформационных ресурсов. Это диктует необходимость обеспечивать соответствующие требования по достоверности, доступности и целостности видеoinформации. Одной из ключевых позиций на пути реализации таких требований является кодирование источников видеoinформации [1 – 3]. Это обуславливает *актуальность тематики научно-прикладных исследований*, проводимых в области компрессии цифровых изображений. Анализ систем сжатия показывает, что наибольшая эффективность обработки обеспечивается для предварительно трансформированных изображений [3 – 5]. Однако устранение избыточности в

трансформантах проводится в основном путем учета психовизуальных и статистических закономерностей. В результате этого получается ограниченный уровень компрессии и резкое падение достоверности получаемой при декодировании видеoinформации. Отсюда *цель исследований* – разработка метода кодирования трансформант сегментированных изображений, обеспечивающего повышение доступности и целостности видеoinформации для заданного уровня достоверности.

2. Описание значимых компонент трансформант позиционными числами

В настоящее время для кодирования трансформант в JPEG ориентированных технологиях используются два базовых подхода, различающихся структурным подходом относительно рассмотрения трансформанты [4]. Первый подход базируется на обработке компонентной структуры трансформанты. Второй – осуществляет кодирование для битовой структуры трансформанты.

Из двух стратегий кодирования наименьшее время обработки затрачивается для компонентной структуры трансформанты. Это объясняется следующими причинами:

- битовая структура трансформанты строится на основе бинаризации ее компонент. В этом случае для каждой компоненты формируется двоичное представление длиной d бит. В итоге вместо обработки $n \times m$ компонент необходимо обработать d битовых плоскостей размером $n \times m$ каждая ($n \times m$ – размер трансформанты). Количество обрабатываемых данных для битового представления трансформанты увеличивается в d раз;

- требуется затратить дополнительное количество операций собственно на саму бинаризацию каждой компоненты трансформанты;

- обработка для компонентной структуры может реализовываться с использованием кодовых таблиц Хаффмана. Это требует меньшего количества операций по сравнению с арифметическим кодированием.

Отсюда компонентная обработка обладает возможностями обеспечить выполнение условия $q_c + q_r \leq \arg \text{ument}(t(q_c + q_r))$, где $t(q_c + q_r) \leq q_p / t$.

Отличительной особенностью процесса устранения избыточности в компонентной структуре трансформанты является учет:

- концентрации основной энергии исходного сигнала в низкочастотных компонентах, и наоборот, информация о мелких деталях формируется в высокочастотных компонентах трансформанты дискретного косинусного преобразования, значения которых зачастую близки к нулевому;

- наличия компонент трансформанты с нулевыми значениями.

Это позволяет организовывать обработку на основе устранения статистической и структурной избыточности. Для такого варианта трансформанта из двумерной растягивается по диагональному зигзагу в одномерную структуру. После этого формируется совокупность пар $\{y_\alpha, \ell_\alpha\}$, где y_α, ℓ_α – соответственно значение α -й значимой компоненты развернутой трансформанты и количество компонент, имеющих одинаковое значение. В результате n^2 компонент трансформанты заменяются m парами $\{y_\alpha, \ell_\alpha\}$, т.е. $\alpha = \overline{1, m}$. При выявлении значимых компонент трансформант создается возможность для устранения структурной избыточности.

Для трансформант в рамках их описания на основе структурного подхода последовательности Y_m значимых компонент присущи следующие закономерности:

1. Две соседние компоненты y_ξ и $y_{\xi+1}$ (где $\xi = \overline{1, m}$) имеют различные значения, т.е.

$$y_\xi \neq y_{\xi+1}, \quad \xi = \overline{1, m}. \quad (1)$$

2. Если исключить из вектора Y_m низкочастотную компоненту, т.е. y_1 , то для полученного вектора Y_{m-1} , значения значимых компонент будут находиться в ограниченном динамическом диапазоне, т.е.

$$y_{\min} \leq y_2, \dots, y_j, \dots, y_m \leq y_{\max}. \quad (2)$$

Здесь разница между верхним уровнем $y_{\max}$ и нижним уровнем $y_{\min}$ диапазона величин y_j на интервале $2 \leq j \leq m$ будет меньше, чем динамический диапазон для вектора Y_m .

Для учета закономерностей, задаваемых соотношениями (1) и (2), предлагается подход, заключающийся в рассмотрении значений значимых компонент y_j , имеющих следующий динамический диапазон:

- для второй компоненты вектора Y_{m-1} он будет равен $w(y)_2 = y_{\max} - y_{\min} + 1$, так как $y_2 \in [0; y_{\max} - y_{\min}]$;

- для всех остальных компонент вектора Y_{m-1} согласно условию (1) он определяется как $w(y)_j = y_{\max} - y_{\min}$, т.е. уменьшается на единицу, где $j = \overline{3, m}$. Это обусловлено тем, что возможные значения компонент y_j для $j = \overline{3, m}$ будут исключать одно из них, которое соответствует предыдущей компоненте, и $y_2 \in [0; y_{\max} - y_{\min} - 1]$.

Значит, на основе предложенных преобразований для трансформанты формируется вектор Y_m значимых компонент, значения которых удовлетворяют следующим условиям:

$$y_2 \leq w(y)_2 = y_{\max} - y_{\min} + 1; \quad y_j \leq w(y)_j = y_{\max} - y_{\min}, \quad j = \overline{3, m}. \quad (3)$$

В этом случае для вектора Y_{m-1} можно сформулировать следующую интерпретацию.

Вектор Y_{m-1} , для компонент которого выполняются условия (3), так, что в общем случае $w(y)_j \neq w(y)_v$, $j \neq v$ и $j, v = \overline{2, m}$, называется позиционным числом с неравными соседними элементами (ПЧНСЭ) и системой оснований $W(y) = \{w(y)_j\}$.

Для такого подхода относительно представления последовательности значимых компонент оценка информативности сводится к определению количества допустимых ПЧНСЭ. В общем случае для позиционной системы со смешанными основаниями количество

допустимых чисел равно $\prod_{j=2}^m w(y)_j$. Следовательно, с

учетом соотношений для величин оснований $w(y)_j$ получим следующее выражение для определения количества $V_m^{(y)}$ допустимых ПЧНСЭ:

$$V_m^{(y)} = \prod_{j=2}^m w(y)_j = (y_{\max} - y_{\min} + 1)(w(y)_j)^{m-2}.$$

Данное выражение учитывает: неизменность оснований для элементов вектора Y_{m-1} ; неравенство соседних компонент вектора Y_{m-1} .

3. Позиционное кодирование значимых компонент трансформант в условиях неравенства соседних элементов

По определению *позиционное число с неравными соседними элементами* образуется на основе вектора значимых компонент трансформанты.

Формирование кодового описания предлагается осуществлять на базе построения кодовых конструкций для позиционных чисел. Вывод выражения для кодирования ПЧНСЭ осуществляется в два этапа:

1) первый этап заключается в определении кода вектора с учетом ограниченности динамического диапазона трансформанты (исключая низкочастотную компоненту);

2) на втором этапе выводятся выражения для получения кода позиционного числа с учетом ограничения на равенство соседних компонент вектора Y_{m-1} .

Рассмотрим первый этап процесса кодирования позиционного числа с НСЭ. Кодирование позиционных чисел как вектора Y_{m-1} значимых компонент трансформанты задается следующим выражением:

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m y_j V(y)_j,$$

где $V(y)_j$ – весовой коэффициент j -го элемента позиционного числа; y_j – j -я компонента вектора Y_{m-1} .

Поскольку динамический диапазон для элементов вектора Y_{m-1} равен $w(y)$, то

$$V(y)_j = w(y)^{m-j-1}.$$

В результате этого значение позиционного кода $E(y)_u$ будет равно

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m y_j w(y)^{m-j-1}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет вычислить значение кода для вектора значимых компонент трансформанты без учета условия неравенства между ними. Данное условие, а именно то, что $y_j \neq y_{j+1}$, $j = \overline{2, n}$, учитывается на втором этапе построения кодового правила. Соотношение для вычисления кода вектора значимых компонент, рассматриваемого как позиционное число с неравными соседними элементами, будет иметь следующий вид:

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m \Delta V(y)_j.$$

Здесь $\Delta V(y)_j$ определяется как количество допустимых последовательностей, предшествующих вектору $\Delta Y(m-j)$. Величина $\Delta V(y)_j$ вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta V(y)_j = \begin{cases} y_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)} - \Delta V(y'_j = y_{j-1}), & \rightarrow y_{j-1} < y_j; \\ y_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)}, & \rightarrow y_{j-1} > y_j, \end{cases} \quad (5)$$

где $y_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)}$ – суммарное количество последовательностей (длиной равной λ_j), для всех элементов которых, кроме j -го, выполняются ограничения на динамический диапазон и на неравенство соседних элементов; $\Delta V(y'_j = y_{j-1})$ определяет количество запрещенных последовательностей, составленных из λ_j элементов, предшествующих кодируемой последовательности $\Delta Y(m-j)$.

Введем вспомогательную величину μ_j , равную

$$\mu_j = \begin{cases} y_j, & \rightarrow y_j < y_{j-1}; \\ y_{j-1}, & \rightarrow y_j > y_{j-1}. \end{cases} \quad (6)$$

В результате этого соотношение для кода $E(y)_u$ вектора значимых компонент трансформанты примет вид

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m \mu_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)}. \quad (7)$$

При кодировании значимых компонент для второй компоненты должно выполняться два условия:

– на значения компонент, предшествующих элементу y_2 , не накладываются ограничения относительно нулевого элемента, т.е. не должно выполняться неравенство $y_{j-1} < y_j$;

– обеспечиваться выполнение неравенства $y'_0 = w(y) > y_2$.

Поэтому для компоненты y_2 в качестве предшествующей y'_0 выбирается значение $w(y)$, равное динамическому диапазону вектора Y_{m-1} , т.е.

$$y'_0 = w(y). \quad (8)$$

Таким образом, соотношения (6) – (8) позволяют определить кодовое значение для вектора значимых компонент трансформанты (исключая низкочастотную компоненту), представляющего собой позиционное число с неравными соседними элементами.

В этом случае в результате исключения последовательностей, содержащих равные соседние компоненты, достигается устранение структурной избыточности без внесения искажений. При этом устранение избыточности обеспечивается даже в тех случаях, когда динамический диапазон высокочастотных компонент трансформанты стремится к динамическому диапазону низкочастотной компоненты, т.е. $y_j \rightarrow y_1$.

Рассмотрим свойства позиционного представления значимых компонент трансформанты.

Верхней границей кода $E(y)_u$ для вектора значимых компонент трансформанты является величина $\Delta V(Y)_u$, равная накопленному произведению $(w(y) - 1)^{(m-1)}$ оснований элементов позиционного числа с неравными соседними элементами, т.е.

$$E(y)_u < \Delta V(Y)_u = (w(y) - 1)^{(m-1)},$$

где $(w(y) - 1)^{(m-1)}$ – количество позиционных чисел с неравными соседними элементами, имеющими следующие параметры: динамический диапазон равен $w(y)$, длина числа равна $(m - 1)$.

Соответственно количество разрядов $\log_2 E(y)_u$, отводимое на представление $E(y)_u$, будет ограничено сверху величиной $D(y)_u$:

$$\log_2 E(y)_u \leq D(y)_u = (m - 1) \log_2 (w(y) - 1). \quad (9)$$

Соотношение (9) обеспечивает определение верхней границы затрат количества двоичных разрядов на представление кода для вектора значимых компонент трансформанты, имеющего параметры $w(y)$ и $(m - 1)$.

4. Заключение

1. Обоснован подход для построения технологии компрессии изображений с использованием предварительного трансформирования, базирующийся на:

1) формировании двух составляющих трансформанты, а именно: вектора значимых компонент и вектора масштабирующих составляющих. Это позволяет:

– адаптироваться к структуре трансформанты, учитывая различную концентрацию высокочастотных компонент в сегменте изображения и различный уровень фактора квантизации;

РИ, 2012, № 2

– выявлять дополнительные структурные закономерности в трансформантах сегментированного изображения.

2) описании вектора значимых компонент трансформанты в виде элементов позиционных чисел с неравными соседними элементами. Это позволяет адаптироваться к свойствам линейризованных трансформант за счет учета: неравенства значений соседних компонент; ограниченности динамического диапазона компонент трансформанты.

2. Сжатие фрагментов изображений достигается в результате:

1) исключения статистической избыточности, обусловленной учетом интегрированных корреляционных зависимостей;

2) снижения психовизуальной избыточности за счет проведения нелинейной квантизации трансформанты;

3) сокращения структурной избыточности, обусловленной:

– выявлением масштабирующих составляющих трансформанты;

– выявлением закономерностей для вектора значимых компонент, а именно: исключения избыточного количества позиционных чисел, которые содержат равные соседние элементы; учета ограниченности и неравномерности динамических диапазонов элементов массивов длин апертур.

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. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 4. Баранник В.В. Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.К. Гулак, Н.А. Королева // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Х.: ХНАУ "ХАІ", 2009. Вип. 1. С. 55– 61. 5. Баранник В.В. Информационная модель построчно-масштабирующих составляющих фрагмента изображения / В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, Н.А. Королева // Системи обробки інформації. Х.: ХУПС. 2011. Вип. 4. С. 55 – 59.

Поступила в редколлегию 06.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 050-3038971.

Кривонос Владимир Николаевич инженер Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации.

Хаханова Анна Владимировна, канд. техн. наук, ст. препод. кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, передачи информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.