

УДК 629.391

БАРАННИК В.В., д.т.н., с.н.с., ведучий научный сотрудник Харьковского университета Воздушных Сил,
 КРИВОНОС В.Н., инженер Харьковского университета Воздушных Сил,
 ХАХАНОВА А.В., к.т.н., доцент кафедры ХНУРЕ

Структурная модель информативности значимых компонент трансформант

Обосновывается необходимость дополнительного повышения степени компактного представления реалистических изображений с контролируемыми потерями качества реконструкции. Показывается возможность для создания новых подходов по сокращению избыточности в трансформированных изображениях. Излагаются основные особенности структурного подхода относительно представления значимых компонент трансформант. Доказывается возможность дополнительного увеличения степени сжатия видеоданных за счет сокращения структурной избыточности векторах значимых компонент трансформант.

Ключевые слова: информативность, позиционное кодирование, трансформанта

Введение

Переход на цифровые информационные технологии, рост объемов видеoinформации диктуется растущими потребностями современного общества. При этом требуется снижать энергетические затраты информационно-вычислительных и телекоммуникационных ресурсов [1 - 5]. Для решения данной проблемы используется множество технологий обработки информации, в том числе компактного представления видеоданных [1 - 3]. Наиболее эффективными среди таких технологий строятся с использованием предварительного трансформирования на основе ортогональных преобразований (Уолша, Хаара, дискретного косинусного преобразования, вейвлет-систем). В тоже время существующие подходы не обеспечивают решения, выдвигаемых к ним требований по степени компрессии, времени обработки и уровню достоверности информации [1 - 3]. Отсюда повышение эффективности процессов компактного представления является **актуальной научной задачей**. В связи с этим **цель статьи** состоит в построении новых подходов относительно представления трансформированных изображений.

Основная часть

Ключевой составляющей систем компрессии трансформированных изображений является технология кодирования.

Для кодирования трансформант используются два базовых подхода. Первый подход базируется на обработке компонентной структуры трансформанты. Второй подход осуществляет кодирование для битовой структуры трансформанты.

© В.В. Баранник, В.Н. Кривonos, А.В. Хаханова, 2013

Наименьшее время обработки обеспечивается 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 будет 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.

Отличительной особенностью процесса устранения избыточности в компонентной структуре трансформанты состоит в учете:

- 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 чего формируется совокупность пар $\{y_\alpha, \lambda_\alpha\}$, где y_α , λ_α - соответственно значение α -й значимой компоненты развернутой трансформанты и количество компонент, имеющих одинаковое значение. В результате n^2 компонент трансформанты заменяются m парами $\{y_\alpha, \lambda_\alpha\}$, т.е. $\alpha = \overline{1, m}$. В результате выявления значимых компонент трансформант создается возможность для устранения структурной избыточности.

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

1) 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 рассмотреть вектор Y_{m-1} , полученный в результате исключения из вектора Y_m низкочастотной компоненты y_1 , то для значимых компонент будет выполняться закономерность относительно ограниченного динамического диапазона, т.е.

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

Здесь разница между величиной верхнего уровня y_{\max} и величиной нижнего уровня 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) возможны три подхода относительно представления вектора значимых компонент.

Первый подход заключается значения компонент вектора Y_{m-1} будут ограничены сверху, следующим образом:

$$y_j \leq y_{\max}, \quad y_{\max} = \max_{2 \leq j \leq m} \{y_j\}. \quad (3)$$

Второй подход состоит в сокращении динамического диапазона значимых компонент в пределах обрабатываемого вектора, следующим образом:

$$y'_j = y_j - y_{\min}, \quad y_{\min} = \min_{2 \leq j \leq m} \{y_j\}. \quad (4)$$

Тогда вектор Y_{m-1} можно рассматривать как одномерное позиционное число в дифференциальном пространстве, т.е.

$$Y_{m-1} = \{y_1 - y_{\min}, \dots, y_j - y_{\min}, \dots, y_n - y_{\min}\}, \quad (5)$$

где $y'_j = y_j - y_{\min}$ - j -й элемент одномерного дифференциального позиционного числа (ОДПЧ).

Из соотношения (5) следует, что элементы y'_j принимают значения в диапазоне $y'_j \in [0; y_{\max} - y_{\min}]$. Отсюда вытекает следующее:

а) структурное описание вектора значимых компонент трансформанты на основе их представления одномерным позиционным числом в дифференциальном пространстве задается следующей формулой [4; 5]:

$$f_m(Y_{m-1}) = \sum_{j=2}^m y'_j V_{m-j}^{(y)},$$

где $V_{m-j}^{(y)}$ - весовой коэффициент i -го элемента ОДПЧ

$$V_{m-j}^{(y)} = (y_{\max} - y_{\min})^{m-j};$$

б) количество $V_m^{(y)}$ различных последовательностей Y_{m-1} , длиной $(m-1)$, которое можно составить на основе формирования различных ОДПЧ равно $V_{m-1}^{(y)} = (y_{\max} - y_{\min})^{m-1}$;

в) максимальный объем цифрового описания вектора значимых компонент трансформанты на основе кода-образующей функции ОДПЧ оценивается по формуле

$$D_{m-1}^{(y)} = \log_2 V_{m-1}^{(y)} = ((m-1)[\log_2(y_{\max} - y_{\min})] + 1).$$

Третий подход заключается в рассмотрении значений значимых компонент y'_j как элементов, имеющих следующий динамический диапазон, а именно:

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

- 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 значение, которое соответствует предыдущей компоненте и $y_2 \in [0; y_{\max} - y_{\min} - 1]$.

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

$$\begin{aligned} y_2 &\leq w(y)_2 = y_{\max} - y_{\min} + 1; \\ y_j &\leq w(y)_j = y_{\max} - y_{\min}, \quad j=\overline{3,m}. \end{aligned} \quad (6)$$

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

Вектор Y_{m-1} , для компонент которого выполняются условия (6), 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 (ПЧ) и с 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 выражения 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} .

Максимальное количество $D_{m-1}^{(y)}$ разрядов, затрачиваемое на представление вектора Y_{m-1} значимых компонент трансформанты, вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} D_{m-1}^{(y)} &= [\log_2 V_m^{(y)}] + 1 = [\log_2 (y_{\max} - y_{\min} + 1) w(y)_j^{m-2}] + 1 = \\ &= [\log_2 (y_{\max} - y_{\min} + 1) + (m-2) \log_2 w(y)_j] + 1. \end{aligned}$$

Откуда среднее количество $D_{m-1}^{(y)}$ двоичных разрядов, приходящееся на один элемент вектора Y_{m-1} , будет равно

$$\overline{D}_{m-1}^{(y)} = \frac{[\log_2 (y_{\max} - y_{\min} + 1) + (m-2) \log_2 w(y)_j] + 1}{m-1}.$$

Тогда минимальное количество $\overline{S}_{\min}^{(y)}$ избыточности в случае представления компоненты трансформанты как отдельной величины относительно ее представления как элемента вектора Y_{m-1} , т.е. как элемента позиционного числа с неравными соседними элементами оценивается на основе выражения

$$\begin{aligned} \overline{S}_{\min}^{(y)} &= \frac{8 - \overline{D}_{m-1}^{(y)}}{8} \times 100\% = \\ &= (1 - [\frac{\log_2 (y_{\max} - y_{\min} + 1)}{8(m-1)} + \frac{\log_2 w(y)_j}{8(m-1)}]) 100\%. \end{aligned}$$

Поскольку выполняется неравенство $\log_2 (y_{\max} - y_{\min}) \leq 8$, то минимальное количество избыточности $\overline{S}_{\min}^{(y)}$ будет отличной от нулевого уровня, т.е. $\overline{S}_{\min}^{(y)} > 0\%$. Значит, можно заключить, что в результате представления вектора значимых компонент позиционным числом с неравными соседними элементами достигается сокращения избыточности относительно случая обработки отдельных компонент. Снижение избыточности достигается в результате учета структурно-комбинаторных закономерностей в векторе значимых компонент трансформанты, которые проявляются в том, что:

- для вектора Y_{m-1} проявляется ограниченность динамического диапазона как снизу, так и сверху (условие (2));
- выполняется ограничение на неравенство между соседними компонентами (условие (1)).

По изложенному материалу можно заключить, что: 1) представление вектора значимых компонент трансформанты фрагмента изображения в виде одномерных адаптивных позиционных чисел с неравными соседними элементами, позволяет снизить количество разрядов на их описание;

2) минимальное количество избыточности обусловлено: ограниченностью динамического диапазона элементов ОАПЧ как снизу, так и сверху; выполнением ограничения на неравенство между соседними значимыми компонентами трансформанты.

Выводы

1. Построена модель оценки информативности трансформант с учетом неравномерности распределения динамических диапазонов компонент. Обосновано, что трансформанта имеет структурную избыточность.

2. Обосновано, что в результате позиционного кодирования сокращается структурная избыточность, вызванная с одной стороны когерентностью областей изображений, а с другой стороны - наличием анизотропных свойств изображения.

Новизна научных результатов состоит в том, что получила дальнейшее развитие методика оценки информативности трансформированных изображений. Отличительная особенность методики состоит в том, что количество информации оценивается на основе выявления структурных закономерностей для вектора значимых компонент трансформанты, обусловленное: ограниченностью динамического диапазона элементов ОАПЧ как снизу, так и сверху; выполнением ограничения на неравенство между соседними значимыми компонентами трансформанты

На основе построенной модели определено минимальное количество структурной избыточности в трансформантах сегментированных изображений.

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 // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. - Х.: ХНАУ "ХАІ", 2009. - Вип. 1. - С. 55- 61.
5. Баранник В.В. Информационная модель построения масштабирующих составляющих фрагмента изображения / В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, Н.А. Королева // Системи обробки інформації. - Х.: ХУПС. - 2011. - Вип. 4. - С. 55 - 59.

Резюме

Обгрунтовується необхідність додаткового підвищення ступеня компактного представлення реалістичних зображень з контрольованими втратами якості реконструкції. Показується можливість для створення нових підходів по скороченню надмірності в трансформованих зображеннях. Висловлюються основні особливості структурного підходу щодо уявлення значущих компонент трансформант. Доводиться можливість додаткового збільшення ступеня стискування відеоданих за рахунок скорочення структурної надмірності вектора значущих компонент трансформант.

Ключові слова: інформативність, позиційне кодування, трансформанта.

The necessity of additional increase of the degree of compact presentation of realistic images with controlled losses of reconstruction quality is grounded. The opportunity for the creation of new approaches to reduce surplus in transformed images is shown. Basic features of structural approach concerning presentation of significant transforms components are expounded. The possibility of additional increase of video data compression degree at the expense of the reduction of structural surplus of vectors of significant transforms components is proved.

Key words: informativeness, positional coding, transform

Рецензент: д.т.н., професор В.И. Безрук,
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники

Поступила 15.03.2013г.