

УДК 621.39

А.А. РЕЗУНЕНКО

Полтавский военный институт связи, Украина

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК АРИФМЕТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОДАНЫХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НЕЗАВИСИМЫМИ БЛОКАМИ

Рассмотрено доказательство условия декодирования отсчетов вейвлет-трансформант изображения. Предложен алгоритм завершения арифметического кодирования. Проведен расчет максимального объема служебных данных для разработанных способов кодирования трансформант изображения. Проведена оценка характеристик арифметического кодирования вейвлет-коэффициентов изображения для различного количества независимых блоков данных.

видеоданные, арифметическое кодирование, вейвлет-преобразование, независимый блок данных, степень сжатия, помехоустойчивость метода

Постановка проблемы в общем виде

Необходимость сжатия информации возникает при хранении и передаче данных. На данном этапе развития современные технические средства не позволяют передавать цифровые изображения с нужным разрешением в реальном времени [1]. Причина в нехватке ресурсов памяти, так как цифровые изображения требуют для своего представления колоссальных объемов данных. Вышесказанное объясняет актуальность проблемы эффективности кодирования изображений. Одним из способов улучшения характеристик методов сжатия изображений является кодирование преобразованных отсчетов исходных видеоданных (ВД) [1].

Анализ исследований и публикаций

Наиболее оптимальным методом для сжатия данных (достигающим теоретической границы степени сжатия) является арифметическое кодирование [2, 3]. Различные реализации кодера применяются в форматах JPEG, JPEG-2000 и др [4]. Современные методы сжатия ВД без потерь с использованием арифметического кодирования при передаче видеoinформации по каналам связи обладают такими недостатками:

– невозможность на декодирующей стороне показа изображений с низким разрешением (JPEG);

– невысокая степень сжатия ВД в режиме огрубленного показа изображения (JPEG-2000);
– сложный алгоритм реализации.

Цель статьи

Цель работы заключается в разработке метода сжатия и восстановления ВД без потерь, позволяющего за несколько этапов декодировать изображение с высокой степенью сжатия.

1. Особенности арифметического кодирования (декодирования) коэффициентов трансформант ВД

Результатом применения вейвлет-преобразования (ВП) к изображению является его декомпозиция на низкочастотную и высокочастотную составляющие. Если в исходных ВД энергия равномерно распределена по всему изображению, то после ВП основная ее часть сосредотачивается в низкочастотной составляющей. После трехуровневой декомпозиции объем низкочастотной области составит менее 2% от общего объема изображения, а высокочастотная область содержит более 85% значений коэффициентов в диапазоне $[-15; 15]$ [5]. Уменьшение величины модуля высокочастотных коэффициентов позволяет при кодировании использовать меньшее количество бит. Одним из способов эффек-

тивного кодирования высокочастотной части изображения является отдельная обработка четырех младших разрядов коэффициентов посредством арифметического кодирования для источника с малым алфавитом [6].

В этом случае четырехразрядные данные представляются целыми числами в интервале от l до h (нижняя и верхняя границы интервала соответственно). По мере кодирования отображающий их интервал уменьшается, а количество бит для их представления возрастает. Очередные символы массива сокращают величину интервала, исходя из значений частоты их появления, накапливаемых в счетчиках $f(s)$, где s – значение символа из интервала $[0; 15]$. Часто встречающиеся символы s сокращают интервал в большей степени (т.е. добавляют больше бит к закодированной последовательности), чем реже встречающиеся. Алгоритм арифметического кодирования представлен в [6].

Ввод исходных данных осуществляется с помощью двухбайтового буфера v . Выбор величины буфера связан с оптимальной скоростью работы кодера (декодера). При кодировании обработанные биты перемещаются в верхнюю часть буфера. Вначале кодер заполняет v полученными битами. После определения следующего входного символа декодером происходит вывод ненужных, одинаковых в l и h старших бит сдвигом v на это количество разрядов.

Проверим правильность декодирования символа изображения. В соответствии с алгоритмом кодирования, декодер использует v для поиска символа, сократившего при кодировании рабочий интервал так, что он продолжает включать в себя v .

Утверждение

Декодер определяет такой символ, для которого

$$f(s) \leq \left\lfloor \frac{(v-l+1) \times f(0) - 1}{h-l+1} \right\rfloor < f(s-1), \quad (1)$$

где $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция деления с отбрасыванием дробной части. Другими словами

$$l + \left\lfloor \frac{(h-l+1) \times f(s)}{f(0)} \right\rfloor \leq v \leq l + \left\lfloor \frac{(h-l+1) \times f(s-1)}{f(0)} \right\rfloor, \quad (2)$$

таким образом, значение v лежит внутри нового интервала, что гарантирует корректность определения каждого отсчета операцией декодирования. Докажем правильность декодирования закодированного массива значений.

Доказательство

Запишем неравенство (1) в виде

$$f(s) \leq \frac{(v-l+1) \times f(0) - 1}{r} + \delta < f(s-1), \quad (3)$$

где $r = h - l + 1$ – значение текущего рабочего интервала, $0 \leq \delta \leq \frac{r-1}{r}$ так как $f(s-1)$ должно быть целым.

Необходимо показать, что $l' \leq v \leq h'$, где l' и h' обновленные значения l и h в соответствии с выражениями:

– для нижней границы

$$l' \leq l + \left\lfloor \frac{r \times f(s)}{f(0)} \right\rfloor \leq l + \frac{r}{f(0)} \left[\frac{(v-l+1) \times f(0) - 1}{r} - \delta \right], \quad (4)$$

из выражения (3) имеем:

$$l' \leq v + 1 - \frac{1}{f(0)}, \text{ следовательно, } l' \leq v \text{ т. к. и } v,$$

и l' , и $f(0) > 0$;

– для верхней границы

$$\begin{aligned} h' &\geq l + \left\lfloor \frac{r \times f(s-1)}{f(0)} \right\rfloor - 1 \geq \\ &\geq l + \frac{r}{f(0)} \left[\frac{(v-l+1) \times f(0) - 1}{r} + 1 - \delta \right] - 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Используя условие (3), получим, что

$$h' \geq v + \frac{r}{f(0)} \left[\frac{1}{r} + 1 - \frac{r-1}{r} \right] = v.$$

2. Разработка алгоритма завершения арифметического кодирования

Ряд исследователей утверждают, что при кодировании сообщений арифметическим кодером достигается теоретическая граница степени сжатия

[2, 3]. Факторами, ухудшающими эффективность метода, являются:

- служебные данные, необходимые для окончания кодирования;
- использование счетчиков ограниченной разрядности для накопления частоты символов;
- данные, устраняющие переполнение счетчиков накапливаемых частот символов (масштабирование счетчиков).

Когда поток бит записывается побайтно, для окончания кодирования потребуется максимум 9 бит (2 бита для ликвидации неясности с последним символом и 7 бит – дополнение к полному байту). Использование счетчиков ограниченной разрядности связано с сокращением остатков от деления. Здесь затраты незначительны и составляют 10^{-4} бит/пиксель. Затраты на масштабирование подсчитаны экспериментально и составляют менее 0,25% от кодируемого блока [7].

Использование двухбайтового буфера v означает то, что на вход декодера закодированный массив поступает двухбайтовыми порциями (пакетами). При чтении последних закодированных пакетов возможно два варианта (рис. 1).

В первом случае байт ЕОВ (End of Block – символ конца блока) занимает последний байт заключительного пакета текущего блока обрабатываемого декодером, что приведет к корректному декодированию всего блока. Во втором случае ЕОВ находится в первом байте пакета, что вызовет некорректное декодирование первого байта нового блока данных. Более того, весь последующий блок будет полностью искажен из-за неправильного декодирования первого отсчета. Следовательно, необходимы дополнительные служебные данные для окончания кодирования блока. Предлагаемая схема кодирования конца блока предполагает запись нулевого байта в конце блока. На приемной стороне декодирование нового блока начинается после обнаружения нулевого байта после ЕОВ. При кодировании блока

возможна ситуация, когда $EOB = 0$. Тогда нулевой байт не записывается, и декодирование начинается с первого байта после ЕОВ.

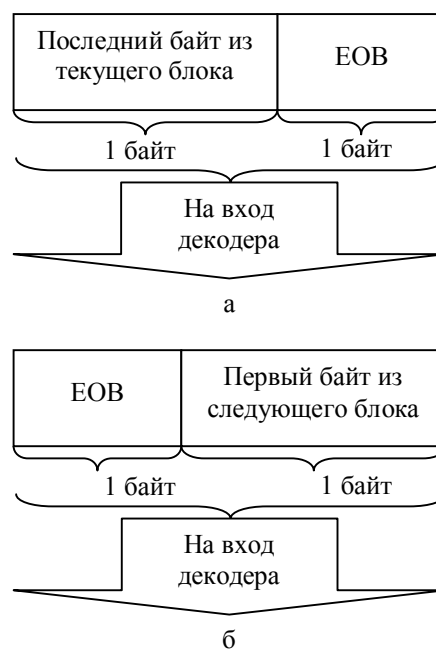


Рис. 1. Способы обработки арифметическим декодером границ блоков: а – корректная, б – некорректная

Алгоритм кодирования конца блока приведен на рис. 2.

3. Оценка способов кодирования независимых блоков трансформант ВД

При обработке всех данных, составляющих единый массив, ошибок кодирования границы блока не возникает. Для данного варианта сжатия изображения объемом 1 Мб (650×512 пикселей) максимальное количество служебных данных $V_{сл}^{max}$ равно

$$V_{сл}^{max} = K \times V_{ок} + V_m + V_{сч} + (K - 1) \times V_{док} \approx 9 \text{ бит} + 32 \text{ бит} + 819 \text{ бит} \approx 108 \text{ байт},$$

где $V_{ок}$ – объем служебных данных, необходимых для окончания кодирования;

$V_m = V_{ВП} \times 10^{-4}$ – объем служебных данных, связанных с ограниченной разрядностью счетчиков частот символов,

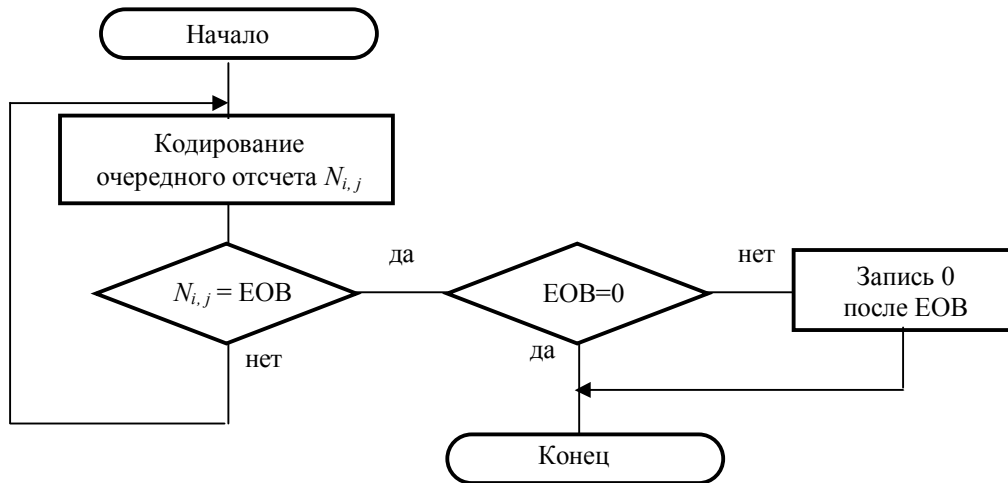


Рис. 2. Предлагаемая блок-схема завершения арифметического кодирования

$V_{ВП} = \frac{63}{64} \times V_{исх}$ – объем высокочастотных трансформант всех компонент изображения ($V_{исх}$ – объем исходного несжатого изображения);

$V_{сч} = V_{ВП} \times 0,0025$ – объем служебных данных, требуемых на масштабирование счетчиков;

$V_{док}$ – объем служебных данных, исключающих некорректную обработку границ блоков;

K – количество обрабатываемых блоков (в данном случае $K = 1$).

Раздельная обработка арифметическим кодером яркостной составляющей, массива знаков вейвлет-коэффициентов и цветоразностных компонент, а также самих цветоразностных компонент изображения приводит к увеличению степени сжатия ВД, так как кодер наиболее полно учитывает различные статистические свойства блоков данных [5]. При обработке 4 блоков данных максимальный объем служебных данных $\tilde{V}_{сл}^{\max}$, будет равен

$$\tilde{V}_{сл}^{\max} = K \times (V_{ок} + V_{док}) + V_m + V_{сч} \approx 127 \text{ байт.} \quad (6)$$

При передаче ВД по каналам связи (например, по сети Internet) особое внимание уделяется такому свойству метода сжатия, как возможность показа изображения с низким разрешением (огрубленной

копии). Простейшим способом реализации метода, позволяющего постепенно декодировать изображение, является отдельное кодирование (декодирование) каждого уровня вейвлет-разложения изображения. Для данного метода обработки ВД $K = 8$, а объем служебных данных будет определяться аналогично выражению (6) и составит $\tilde{V}_{сл}^{\max} \approx 147$ байт. Степень сжатия изображения уменьшится по сравнению с предыдущим видом обработки цветových компонент. Причина – в независимом кодировании отдельного блока данных меньшего размера. Преимущество такого метода обработки – высокая помехоустойчивость к ошибкам кодирования, так как возникающее искажение локализуется в текущем блоке [6].

Повышение помехоустойчивости достигается путем уменьшения объемов обрабатываемых блоков, например, при раздельном кодировании высокочастотных матриц (LH, HL, HH) различных уровней вейвлет-разложения цветových компонент изображения. В этом случае количество обрабатываемых блоков возрастет до 29 (рис. 3).

Диаграммы зависимости степени сжатия ВД от вида обработки трансформант ВП показаны на рис. 4.

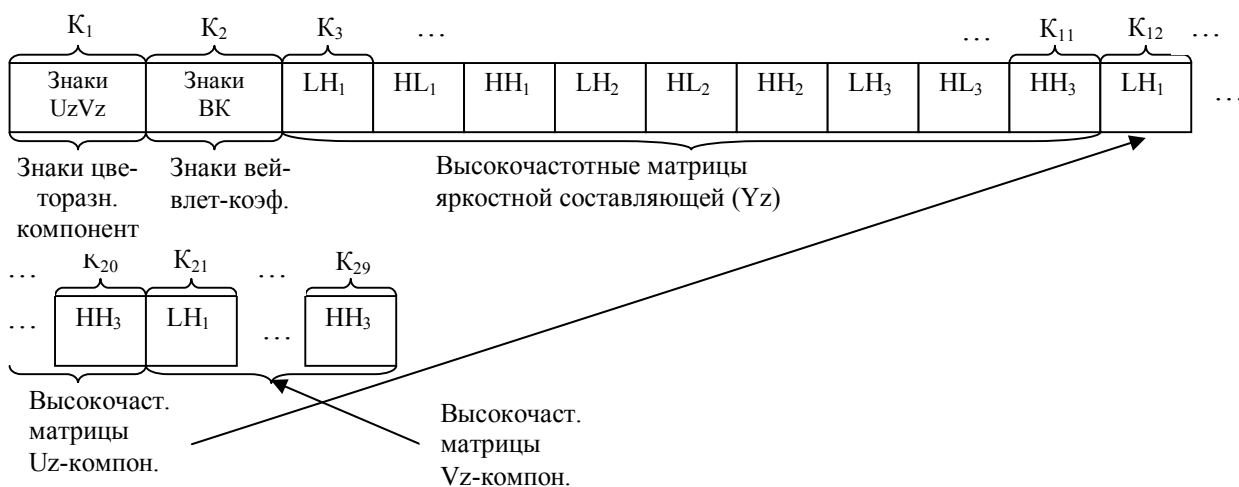


Рис. 3. Массив блоков данных, подвергаемых независимому арифметическому сжатию

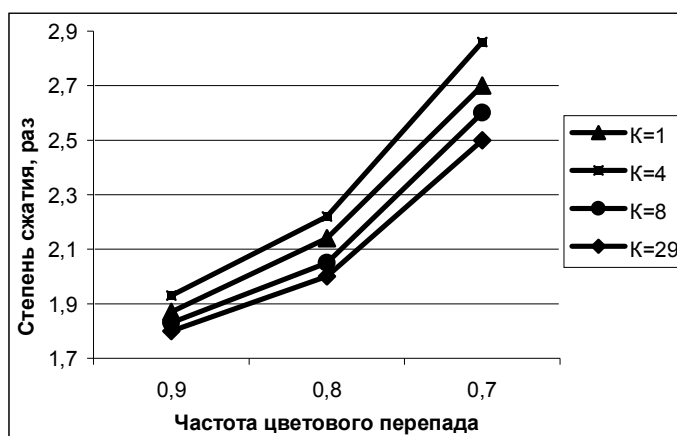


Рис. 4. Зависимость степени сжатия изображений от количества обрабатываемых блоков

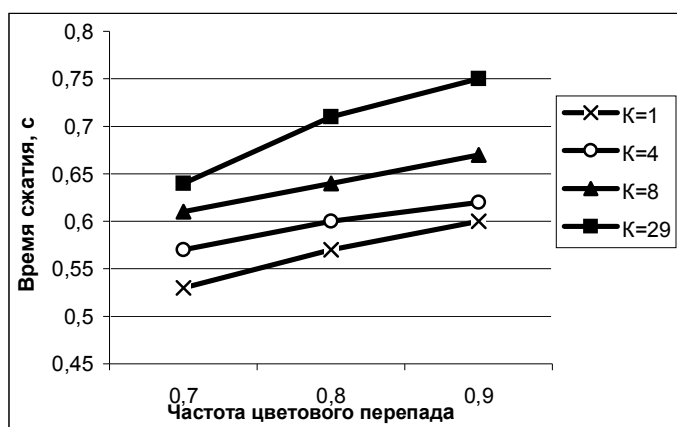


Рис. 5. Зависимость времени сжатия изображений от количества независимо обрабатываемых блоков

Анализ графиков на рис. 4 позволяет сделать выводы о том, что оптимальным, с точки зрения максимального коэффициента сжатия, является второй способ обработки данных ($K = 4$), так как он наиболее эффективно учитывает различные статистические свойства блоков данных. Четвертый вид обработки ($K = 29$) наиболее устойчив к ошибкам кодирования в виду минимальных размеров обрабатываемых блоков.

Временные затраты на кодирование ВД рассмотренными способами представлены на рис. 5.

Выводы

1. В статье приведено доказательство условия декодирования высокочастотных вейвлет-коэффициентов изображения.

2. Представлен и обоснован алгоритм завершения арифметического кодирования с целью многократного использования для сжатия независимых блоков ВД.

3. Показан расчет максимального объема служебных данных для различного количества независимых блоков данных.

4. Применение различных способов кодирования трансформант ВД приводит:

– к повышению степени сжатия изображений на 5% (при $K = 4$) в сравнении с обработкой трансформант изображения единым блоком ($K = 1$);

– за счет уменьшения объемов обрабатываемых блоков ($K = 8$) к повышению помехоустойчивости метода, но при этом степень сжатия уменьшается на 3%.

5. Время сжатия изображений предложенными способами позволяет применять их в существующих системах передачи видеoinформации.

Литература

1. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений: Кн. 2. – М.: Мир, 1982. – 480 с.

2. Потапов В.Н. Арифметическое кодирование вероятностных источников. – Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2001. – 12 с.

3. Рябко Б.Я., Фионов А.Н. Эффективный метод арифметического кодирования для источников с большими алфавитами // Проблемы передачи информации. – 1999. – Т. 35, вып. 4. – С. 95 – 108.

4. Slattery M.J., Mitchell J.L. The Qx-coder // IBM Journal of Research and Development. – 1998. – V.42, № 6. – P. 47 – 53.

5. Стрюк А.Ю., Клименко К.С., Резуненко А.А. Статистические свойства видеоданных, подвергнутых дискретному вейвлет-преобразованию // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова. – К.: НАНУ, ІПМЕ ім. Г.С. Пухова. – 2003. – Вип. 22. – С. 198 – 201.

6. Резуненко А.А., Клименко К.С. Метод целочисленного арифметического кодирования видеоданных // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 2. – С. 13 – 16.

7. Мاستрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 2. Арифметическое кодирование // Монитор. – 1994. – № 1. – С. 20 – 26.

Поступила в редакцию 1.10.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.