

УДК 629.391

В.В. БАРАННИК¹, Б.В. ОСТРОУМОВ², Е.А. БРЫДНЯ¹¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,²НТ СКБ «Полисвіт», Украина

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АПЕРТУРНОГО ДВУХИЗОФОТНОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ

Излагается метод восстановления элементов исходных изображений на основе декомпозиции обобщенных кодовых конструкций, полученных для двухизофотных кодовых комбинаций массивов цветовых координат и массивов длин апертур.

апертурное представление изображений, декомпозиция обобщенных кодов

Введение

Разработка методов компактного представления видеоинформации, обладающих возможностью дополнительного снижения объемов исходных данных в условиях ограниченных возможностей вычислительных систем по быстродействию, необходима для сокращения времени доведения достоверных видеоданных. Для оценки достоверности получаемой видеоинформации необходимо, чтобы объекты изображения были правильно идентифицированы. Поэтому процесс восстановления должен быть взаимнообратным процессу сжатия. Значит разработка методов восстановления видеоинформации без потери качества является актуальным направлением научных исследований.

Формулирование проблемы. Обозначим последовательность основных этапов процесса сжатия в виде функционала $F_{сж}$:

$$F_{сж} = f \{ \varphi_a, \varphi_{дак}, \varphi_{ок}, \varphi_{усд} \}, \quad (1)$$

включающего в себя последовательное выполнение трех основных видов преобразований: φ_a – выявление апертур и определение их характеристик; $\varphi_{дак}$ – двухизофотное кодирование; $\varphi_{ок}$ – формирование обобщенного кодового представления массивов апертурных характеристик; $\varphi_{усд}$ – упаковка слу-

жебных данных. В соответствии с функционалом (1) процесс взаимнооднозначного восстановления изображений должен задаваться функционалом F_g :

$$F_g = \{ \varphi_{рсд}, \varphi_{од}, \varphi_{дад}, \varphi_{фмк}, \varphi_{фмда}, \varphi_a^{(-1)} \}. \quad (2)$$

При этом предлагается процесс восстановления организовывать на основе преобразований, выполняемых в следующей последовательности: $\varphi_{рсд}$ – распаковка служебных данных; $\varphi_{од}$ – декодирование обобщенных кодовых конструкций; $\varphi_{дад}$ – восстановление апертурных характеристик; $\varphi_{фмк}$, $\varphi_{фмда}$ – формирование массивов цветовых координат и массивов длин апертур; $\varphi_a^{(-1)}$ – непосредственное восстановление элементов исходных изображений. В связи с этим **цель статьи** состоит в разработке метода безпогрешностного восстановления апертурных характеристик изображений на основе функционала F_g .

Декомпозиции обобщенных апертурных кодовых комбинаций

В соответствии с функционалом F_g , одними из основных этапов метода восстановления являются преобразования, заданные операторами $\varphi_{од}$ и $\varphi_{дад}$. Рассмотрим этап, связанный с декомпозицией обоб-

щенных двухизофотных кодов. Для того, чтобы восстановить значения элементов $h_{\xi\gamma}^{(1)}$, $h_{\xi\gamma}^{(2)}$ и $\ell_{\xi\gamma}^{(1)}$, $\ell_{\xi\gamma}^{(2)}$ – нижних и верхних изофотных уровней соответственно массивов цветowych координат и длин серий, необходимо знать, кроме значений $\theta(h)_{\xi\gamma}^{(1)}$, $\theta(h)_{\xi\gamma}^{(2)}$ и $\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(1)}$, $\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)}$, еще и значения двухизофотных апертурных кодов: $N(\ell)_u^{(1)}$, $N(h)_v^{(1)}$ – для нижних изофотных уровней; $N(\ell)_u^{(2)}$, $N(h)_v^{(2)}$ – для верхнего изофотного уровня. В процессе сжатия для кодового представления величин $N(\ell)_u^{(1)}$, $N(h)_v^{(1)}$ и $N(\ell)_u^{(2)}$, $N(h)_v^{(2)}$ были сформированы обобщенные кодовые конструкции $N(h, \ell)_v^{(1)}$ и $N(h, \ell)_v^{(2)}$ соответственно для апертурных кодов нижнего и верхнего изофотного уровней. Поэтому содержанием *данного* этапа метода восстановления изображений является декомпозиция кодовых конструкций обобщенных кодов $N(h, \ell)_v^{(1)}$ и $N(h, \ell)_v^{(2)}$. Рассмотрим процесс получения значений величин $N(\ell)_u^{(1)}$, $N(h)_v^{(1)}$ на основе декодирования кодов $N(h, \ell)_v^{(1)}$. На представление обобщенных кодов $N(h, \ell)_v^{(1)}$ отводится равномерное количество разрядов, равное M битам. При этом часть разрядов этой кодовой конструкции отводится на представление полного значения величины $N(h)_v^{(1)}$, и только некоторое количество разрядов $k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)})$ может быть затрачено на представление η -й части кодового представления значения $N(\ell)_u^{(1)}$. Количество разрядов $k(N_2(h)_v^{(1)})$, отводимое на представление значения величины $N(h)_v^{(1)}$, находится по формуле

$$k(N_2(h)_v^{(1)}) = \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1, \quad (3)$$

где $n(v)_a$ – количество элементов в столбце массива

$\Theta(h)^{(1)}$, отобранных в процессе формирования последовательности элементов $h_{\xi\gamma}^{(1)}$ для вычисления значения $N(h)_v^{(1)}$: $n(v)_a = n_a$, если $q(h)_v^{(1)} \geq n_a$; в обратном случае $n(v)_a < n_a$; $q(h)_v^{(1)}$ – суммарное количество элементов массива $H^{(1)}$, отобранных для формирования значения $N(h)_v^{(1)}$; $m(v)_a^{(1)}$ – количество строк массива $H^{(1)}$, в которых расположены элементы $h_{\xi\gamma}^{(1)}$, принадлежащие v -й кодовой конструкции $m(v)_a^{(1)} = [q(h)_v^{(1)} / n_a] + 1$, если $q(h)_v^{(1)} \geq n_a$; $m(v)_a^{(1)} = 1$, если $q(h)_v^{(1)} < n_a$;

$\log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1$ – количество разрядов, отводимое на представление величины $\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)}$.

Отсюда величина $k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)})$ для случая

$$M > \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1 \quad (4)$$

будет равна

$$\begin{aligned} k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)}) &= M - \\ &- \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1 = \\ &= M - k(N_2(h)_v^{(1)}). \end{aligned} \quad (5)$$

В противном случае, когда выполняется неравенство

$$M = \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1, \quad (6)$$

величина $k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)})$ определяется из очередных обобщенных кодов $N(h, \ell)_{v+1}^{(1)}$. Для организации проверки неравенств (4) и (6), а также для опреде-

ления позиций и количества $q(h)_v^{(1)}$ элементов, отобранных в процессе сжатия для формирования v -го значения $N(h)_v^{(1)}$ апертурного кода массива цветowych координат, выполняются следующие действия:

- вычисляется значение накопленного произведения для текущего количества $c(h)_v^{(1)}$ элементов $\theta(h)_{\xi\gamma}^{(1)}$;

- проверяются условия о возможности добавления текущего элемента $h_{\xi\gamma}^{(1)}$ массива $H^{(1)}$, имеющего основание $\theta(h)_{\xi\gamma}^{(1)}$, в последовательность элементов, для которых формируется значение величины $N(h)_v^{(1)}$:

– если выполняется неравенство

$$\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} < 2^M - 1,$$

то к накопленному произведению добавляется текущий элемент массива $\Theta(h)^{(1)}$ (соответственно количество элементов для которых формируется v -е значения кода увеличивается на 1);

– если выполняется равенство

$$\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} = 2^M - 1,$$

то текущий элемент считается допустимым, но проверка соотношений (4) и (6) не проводится, так как отсутствует свободное количество разрядов в машинном слове;

– в случае если

$$\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} > 2^M - 1,$$

то процесс отбора элементов завершается, количество отобранных элементов $q(h)_v^{(1)}$ будет равно предыдущему количеству элементов. Далее осуществляется проверка неравенств (4) и (6).

Двоичная запись значение кода $N(h)_v^{(1)}$ определяется на основе выборки только значимых разрядов кодовой комбинации $N_2(h)_v^{(1)}$, длиной

$$\log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1 \text{ разрядов.}$$

После чего процесс восстановления переходит на обработку очередной обобщенной кодовой конструкции $N(h, \ell)_{v+1}^{(1)}$.

Процесс формирования кодового представления $N_2(\ell)_u^{(1)}$ значения величины $N(\ell)_u^{(1)}$ заканчивается тогда, когда выполняется равенство между накопленной суммой величин $k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)})$, $\eta = \overline{1, \Omega}$ и количеством разрядов, отводимым на представление

$$\text{величины } \prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} :$$

$$k(N_2(\ell)_u^{(1)}) =$$

$$= \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1, \quad (7)$$

где $n(u)_a$ – количество элементов в столбце массива $\Theta(\ell)^{(1)}$, отобранных в процессе формирования последовательности элементов $\ell_{\xi\gamma}^{(1)}$ для вычисления значения $N(\ell)_u^{(1)}$: $n(u)_a = n_a$, если $q(\ell)_u^{(1)} \geq n_a$; $n(u)_a < n_a$, если $q(\ell)_u^{(1)} < n_a$; $q(\ell)_u^{(1)}$ – суммарное количество элементов массива $L^{(1)}$, отобранных для формирования значения $N(\ell)_u^{(1)}$; $m(u)_a^{(1)}$ – количество строк массива $L^{(1)}$, в которых расположены элементы $\ell_{\xi\gamma}^{(1)}$, принадлежащие u -й кодовой конструкции $m(u)_a^{(1)} = [q(\ell)_u^{(1)} / n_a] + 1$, если $q(\ell)_u^{(1)} \geq n_a$; $m(u)_a^{(1)} = 1$, если $q(\ell)_u^{(1)} < n_a$;

$$\log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1 - \text{коли-}$$

чество разрядов, отводимое на представление величины

$$\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} .$$

В соответствии с выражением (7) для определения количества разрядов, отведенного на представление величины $N_2(\ell)_u^{(1)}$, необходимо найти количество $q(\ell)_u^{(1)}$ элементов, участвующих в формировании значения величины $N(\ell)_u^{(1)}$. Для этого выполняются следующие действия:

- вычисляется значение накопленного произведения для текущего количества $c(\ell)_u^{(1)}$ элементов $\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(1)}$;

- проверяются условия о возможности добавления текущего элемента $\ell_{\xi\gamma}^{(1)}$ массива $L^{(1)}$, имеющего основание $\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(1)}$, в последовательность элементов, для которых формируется значение величины $N(\ell)_u^{(1)}$:

– если выполняется неравенство

$$\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} < 2^M - 1,$$

то к накопленному произведению добавляется текущий элемент массива $\Theta(\ell)^{(1)}$ (соответственно количество элементов для которых формируется u -е значения кода увеличивается на 1);

– если выполняется равенство

$$\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} = 2^M - 1,$$

то текущий элемент считается допустимым, но процесс добавления элементов массива $L^{(1)}$ завершается;

– в случае если

$$\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} > 2^M - 1,$$

то процесс отбора элементов завершается, а количество отобранных элементов $q(\ell)_u^{(1)}$ будет равно предыдущему количеству элементов.

После определения величин $q(\ell)_u^{(1)}$ и

$\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)}$ вычисляется правая

часть равенства (5). Величина

$$\log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1$$

служит как пороговое значение для вычисления количества разрядов $k(N_2(\ell)_u^{(1)})$, равного

$$k(N_2(\ell)_u^{(1)}) = \sum_{\eta=1}^{\Omega} k(\Delta_{\eta} N_2(\ell)_u^{(1)}) . \quad (8)$$

Это позволит определить количества частей Ω , добавляемых после обработки обобщенных кодовых конструкций.

В этом случае правило останова формирования кодового представления $N_2(\ell)_u^{(1)}$ задается следующими соотношениями:

– если текущая сумма величин $k(\Delta_{\eta} N_2(\ell)_u^{(1)})$

для Ω_x частей меньше, чем значение

$$\log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{1\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1,$$

то организуется обработка очередного обобщенного кода с целью определения следующей части $\Delta_{\Omega_x+1} N_2(\ell)_u^{(1)}$ кодовой комбинации $N_2(\ell)_u^{(1)}$;

– в противном случае, если выполняется равенство, то текущее количество Ω_x частей $\Delta_{\eta} N_2(\ell)_u^{(1)}$ является необходимым и достаточным для полного формирования кодовой комбинации $N_2(\ell)_u^{(1)}$.

В этом случае процесс формирования кодового представления u -го значения кода длин апертур считается завершенным.

Значение кода $N(\ell)_u^{(1)}$ определяется путем выборки только значимых разрядов кодовой комбинации $\bigcup_{\eta=1}^{\Omega} \Delta_{\eta} N_2(\ell)_u^{(1)}$. После чего организуется обратка следующего обобщенного кода для определения очередных двухизотопных кодов массивов длин апертур и массивов цветовых координат.

Процесс обработки обобщенных кодов $N(h, \ell)_v^{(2)}$ для получения апертурных кодов верхнего изотопного уровня $N(\ell)_u^{(2)}$ и $N(h)_v^{(2)}$ организуется по аналогии с обработкой кодов $N(h, \ell)_v^{(1)}$. По завершению выполнения третьего этапа метода восстановления образуются последовательности апертурных кодов нижнего $N(\ell)_u^{(1)}$, $N(h)_v^{(1)}$ и верхнего $N(\ell)_u^{(2)}$, $N(h)_v^{(2)}$ изотопных уровней.

Заключение

Таким образом, можно сделать выводы:

1. Разработан метод восстановления изображений, обеспечивающий: декомпозицию кодовых конструкций обобщенных кодов для построения двоичных кодовых комбинаций апертурных кодов соответственно для нижнего и верхнего изотопных уровней.

2. Разработанный метод восстановления обеспечивает: восстановление исходных элементов изображения без потери качества, сокращение количества операций за счет исключения операций на: поиск и выборку зон массивов L и C , обращения к ВЗУ для хранения координат начала и конца зон, сопоставления индексов элементов массивов L и C , а также сократить количество операций на сопоставление обобщенного кода и необходимых столбцов цветовых координат.

Литература

1. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
2. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. – 212 с.
3. Королёв А.В., Баранник В.В. Метод восстановления изображений // Системы обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2001. – Вип. 2 (12). – С. 21-25.

Поступила в редакцию 22.04.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.