

Информационная технология восстановления компрессированных изображений

Харьковский университет Воздушных Сил Имени Ивана Кожедуба

Ключевые слова: декомпрессия сжатых изображений, апертурные коды, двухизофотное пространство

Ключові слова: декомпресія стиснутих зображень, апертурні коди, двухізофотне пространство

Keywords: shrunk image decompression, aperture codes, two-isophot space

1. Введение

В настоящее время одной из приоритетных **научно-прикладных задач** в области систем телекоммуникации является обеспечение сокращения времени передачи достоверных видеоданных [1; 2]. В условиях ограниченных возможностей телекоммуникационных технологий относительно доставки оцифрованных изображений решение данной задачи возможно с использованием систем компактного представления. На данный момент разработано множество методов сжатия видеоданных, которые характеризуются зависимостью степени компрессии от затрат количества операций на обработку и величины отношения сигнал/шум [2; 4]. В этом плане одно из перспективных направлений состоит с построением систем сжатия на основе выявления апертурных характеристик [5; 6]. Дальнейшее развитие такого подхода связано с организацией процесса сокращения избыточности на основе выявления структурных закономерностей в массивах апертурных характеристиках. В тоже время для оценки достоверности получаемой видеоинформации необходимо чтобы объекты изображения были правильно идентифицированы. Отсюда **цель исследований** заключается в построении методов восстановления видеоинформации с регулируемой потерей качества.

2. Декомпозиции обобщенных апертурных кодовых комбинаций

Для обеспечения воспроизведения изображений с заданным уровнем достоверности процесс восстановления должен содержать следующие этапы: распаковка служебных данных; декодирование обобщенных кодовых конструкций; восстановление апертурных характеристик; формирования массивов цветовых координат и массивов длин апертур; непосредственное восстановление элементов исходных изображений. В соответствии с этим одним из основных этапов метода восстановления является декодирование апертурных кодов. Рассмотрим этап, связанный с декомпозицией обобщенных 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 цветовых 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 знать 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

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

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 $m(v)_a^{(1)} = \lceil q(h)_v^{(1)} / n_a \rceil + 1$, если $q(h)_v^{(1)} \geq n_a$; $m(v)_a^{(1)} = 1$, если $q(h)_v^{(1)} < n_a$;

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

представление величины $\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)}$.

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

$$M > \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1 \quad (2)$$

будет равна

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

В противном случае, когда выполняется неравенство

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

величина $k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)})$ определяется из очередных обобщенных кодов $N(h, \ell)_{v+1}^{(1)}$. Для организации проверки неравенств (2) и (4), а также для определения позиций и количества $q(h)_v^{(1)}$ элементов, отобранных в процессе сжатия для формирования v -го значения $N(h)_v^{(1)}$ апертурного кода массива цветковых 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 нера-

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

добавляется текущий элемент массива $\Theta(h)^{(1)}$; если выполняется равенство

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

мым, но проверка соотношений (2) и (4) не проводится так как отсутствует свободное количество разрядов в машинном слове; в случае если

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

ся, количество отобранных элементов $q(h)_v^{(1)}$ будет равно предыдущему количеству элементов. Далее осуществляется проверка неравенств (2) и (4).

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

$\ell \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(v)_a} \theta(h)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(v)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1$ разрядов. После чего процесс восста-

новления 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 $k(\Delta_\eta N_2(\ell)_u^{(1)})$, $\eta=1, \Omega$ и количеством разрядов, отводимым на представление величины

$$\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} : \quad (5)$$

$$k(N_2(\ell)_u^{(1)}) = \ell \log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1,$$

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 $q(\ell)_u^{(1)} < n_a$;

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

В соответствии с выражением (5) 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 $\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} < 2^M - 1$, то

к накопленному произведению добавляется текущий элемент массива $\Theta(\ell)^{(1)}$;

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

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

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

вычисляется правая часть равенства (5). Величина

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

вычисления количества разрядов $k(N_2(\ell)_u^{(1)})$, равного

$$k(N_2(\ell)_u^{(1)}) = \sum_{\eta=1}^{\Omega} k(\Delta_{\eta} N_2(\ell)_u^{(1)}). \quad (6)$$

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 $\log_2 \left[\prod_{\zeta=1}^{n(u)_a} \theta(\ell)_{I\zeta}^{(1)} \prod_{k=\xi+1}^{m(u)_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(1)} \right] + 1$, 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 обработка следующего обобщенного кода для определения очередных двухизотопных кодов массивов длин апертур и массивов цветковых координат.

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

После получения апертурных характеристик осуществляется переход на следующий этап процесса восстановления изображений, связанный с непосредственным восстановлением элементов исходных изображений. Данный этап заключается в сопоставлении длинам апертур $\ell_{\alpha\beta}$ соответствующих цветовых координат $\mathbf{h}_{\alpha\beta}$. Это позволит воспроизвести структурные формы объектов исходных изображений с учетом их цветовой модели. Процесс сопоставления элементов массивов длин апертур элементам массивов цветовых координат, обеспечивающий безпогрешностное получение элементов апертуры включает:

1) дробление массивов длин апертур и цветовых координат на зоны соответствия. Причем должно обеспечиваться соответствие: индексов элементов массивов цветовых координат и длин апертур; размеров массивов апертурных характеристик;

2) определение параметров начала обработки очередных массивов апертурных характеристик;

3) поиск и выборка в массивах апертурных характеристик элементов с равными индексами.

Обеспечение выполнения данных требований осуществляется за счет того, что: формирование очередного элемента массива цветовых координат проводится только после того, как закончено определение количества элементов изображений с одинаковой цветовой координатой (удовлетворяющих диапазону значений апертуры); размеры и количество массивов цветовых координат равно соответственно размерам и количеству массивов длин апертур.

Предложенная организация массивов апертурных характеристик позволит: избежать хранения координат начала и конца каждой последовательности цветовых координат апертур и их длин; сократить количество операций, затрачиваемых на организацию сопоставления длин апертур их цветовым координатам.

3. Выводы

Таким образом, можно сделать выводы:

1. Разработан метод восстановления изображений, обеспечивающий:
 - восстановление следующей служебной информации; распределение позиций в массивах апертурных характеристик \mathbf{L} и \mathbf{H} на подмассивы соответственно значений длин апертур и их цветовых координат нижнего и верхнего изофотных уровней;
 - разделение массивов $\Theta(\ell)$ и $\Theta(\mathbf{h})$, состоящих из значений ограничений на динамический диапазон соответственно длин апертур $\theta(\ell)_{\xi\gamma}$ и цветовых координат $\theta(\mathbf{h})_{\xi\gamma}$ на подмассивы $\Theta(\ell)^{(1)}$, $\Theta(\mathbf{h})^{(1)}$ и $\Theta(\ell)^{(2)}$, $\Theta(\mathbf{h})^{(2)}$ для апертурных характеристик нижнего и верхнего уровней;

- декомпозицию кодовых конструкций обобщенных кодов $N(\mathbf{h}, \ell)_v^{(1)}$ и $N(\mathbf{h}, \ell)_v^{(2)}$ для построения двоичных кодовых комбинаций апертурных кодов соответственно для нижнего и верхнего изофотных уровней;
- декодирование кодов $N(\ell)_u^{(1)}$, $N(\mathbf{h})_v^{(1)}$ и $N(\ell)_u^{(2)}$, $N(\mathbf{h})_v^{(2)}$ для получения апертурных характеристик соответственно массивов нижнего изофотного уровня и массивов верхнего изофотного уровня;
- расстановку элементов массивов $L^{(1)}$, $L^{(2)}$ и $H^{(1)}$, $H^{(2)}$ на исходные позиции соответственно в массивах L и H; непосредственное восстановление элементов исходных изображений на основе сопоставления цветовых координат соответствующим длинам апертур.

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

Список литературы

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2006. - 958 с.
2. Ватолин В.И. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. / Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Adams M.D. The JPEG-2000 Still Image Compression 1 N 2412, Sept. 2001.
4. Wallace G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication in ACM. – 1991. – V34 - №4. – P.31 – 34.
5. Баранник В.В. Обоснование возможности компактного представления длин серий полиадическими кодами / В.В. Баранник, Н.А. Королева // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 4(14). – С. 72 – 77.

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

Поступила в редколлегию 13.03.09