УДК 621.327

В.В. БАРАННИК, И.В. ХАХАНОВА

КОМПАКТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАТРИЦ ЗНАКОВ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ

Излагается метод кодирования двоичных матриц с априорно неизвестными статистическими характеристиками. Сжатие достигается за счет сокращения структурной избыточности, обусловленной закономерностями в количестве серийных перепадов.

1. Введение

Современные методы сжатия строятся на основе комплексных подходов к процессам сокращения избыточности изображений [1-4]. Поэтому сжатое представление оцифрованных изображений включает в себя не только информационную часть, но и служебные части. Объем служебных данных может достигать 30 – 50% от общего объема кодового представления. Значит, дополнительное повышение степени сжатия неразрывно связано с обработкой массивов служебных данных.

В случае реализации технологии сжатия, основанной на dwt-преобразованиях, служебными данными являются массивы U двоичных данных, несущих информации о знаке компонент трансформант:

$$U=\{u_{ij}\},\ i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n},\ u_{ij}\in\{0;1\};$$

$$u_{ij}=\begin{cases}0, & \to\ y_{ij}\ge 0;\\ 1, & \to\ y_{ij}<0,\end{cases}$$

где u_{ij} – $(i;\ j)$-й элемент матрицы знаков; m,n – соответственно количество строк и столбцов в трансформанте; y_{ij} – $(i;\ j)$-я компонента трансформанты.

Объем W_u цифрового представления матрицы знаков равен mn битов. В режиме, когда требуется обеспечить степень сжатия порядка 10 раз, величина W_u начинает играть значимую роль. Отсюда *цель исследования* заключается в разработке метода сжатия матрицы знаков компонент трансформант, который отличается от аналогов обработкой двоичных данных с заранее неизвестными статистическими свойствами, что дает возможность повысить компактность представления данных в два раза с одновременным увеличением быстродействия в 1,5 раза.

Для достижения поставленной цели решаются следующие *задачи*:

1) Разработка метода структурного кодирования двоичных данных.
2) Построение рекуррентной модели реализации структурного кодирования.
3) Оценка характеристик процесса сжатия данных на конкретном примере.

Распределение знаков между компонентами трансформанты зависит от содержания исходного изображения. Поскольку изображения характеризуются нестационарностью статистических свойств, априорно закон распределения знаков по компонентам неизвестен. Поэтому актуальной проблемой является построение метода компактного представления двоичных матриц знаков с заранее неизвестными статистическими свойствами.

2. Разработка двоичного кодирования матриц знаков

При обработке трансформант dwt-преобразований формируется два массива (рисунок). Первый массив представляет собой трансформанту Y коэффициентов преобразования, а второй – матрицу U знаков компонент. Матрица знаков на приемной стороне необходима для восстановления изображений с требуемым значением отношения сигнал/шум (для обеспечения заданного уровня достоверности информации). В данном случае обработке будет подвергаться матрица знаков.

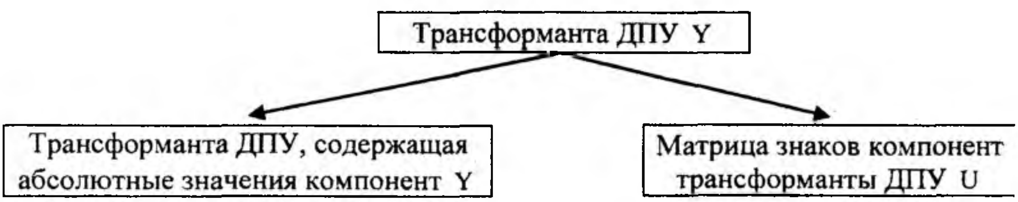

Схема предобработки трансформанты

Поскольку статистические характеристики элементов двоичного массива знаков компонент трансформант не стационарны, предлагается осуществлять компактное представление на основе двух следующих выражений:

1) $\left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right| = 1$:

$$p_{ij} = (r_{i-1,j}(m-i+2-\beta_{i-1,j}))/(m-i+2); \tag{1}$$

2) $\left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right| = 0$:

$$p_{ij} = (r_{i-1,j}\,\beta_{ij})/(m-i+2), \tag{2}$$

где m – длина обрабатываемой двоичной последовательности; u_{ij} – $(i;j)$-й элемент двоичного массива знаков компонент трансформант; r_{ij} – количественный показатель обрабатываемых данных; $p_{ij} = (r_{i-1,j} - r_{ij})$ – весовой коэффициент $(i;j)$-го элемента обрабатываемой последовательности, зависящий от значений m и ϑ; β_{ij} – рекуррентный параметр, равный количеству двоичных перепадов (переходов между «0» и «1») для последовательности, состоящей из $(m-i+1)$ необработанных элементов $\beta_{ij} = \beta_{i-1,j} - \left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right|$.

Для начального шага обработки $(i=1)$ и с учетом того, что начальные параметры процесса кодирования равны: $\beta_{0,j} = 2\vartheta$, $u_{0,j} = 0$ и $r_{0,j} = \dfrac{(m+1)!}{(\beta_{0,j})!\,(m+1-\beta_{0,j})!} = V(\vartheta)$, соотношения (1) и (2) в этом случае трансформируются к виду:

1) $\left|u_{0,j}-u_{1,j}\right|=1: p_{1,j}=(m+1-\beta_{0,j})/\ (m+1)$;

2) $\left|u_{0,j}-u_{1,j}\right|=0: p_{1,j}=\beta_{1,j}/(m+1)$.

Достоинством выражений (1) и (2) является то, что для вычисления весового коэффициента p_{ij} требуется знать только одну величину $r_{i-1,j}$. Это позволяет сократить количество операций на обработку. Однако для осуществления рекуррентного кодирования необходимо разработать систему выражений, позволяющих определять весовой коэффициент p_{ij} элемента u_{ij} через весовой коэффициент $p_{i-1,j}$ предыдущего элемента $u_{i-1,j}$. Для этого требуется построить систему выражений для нахождения весового коэффициента $p_{i-1,j}$ через величину $r_{i-1,j}$.

Запишем для величины $p_{i-1,j}$:

$$p_{i-1,j}=(r_{i-2,j}-r_{i-1,j})=\left(\frac{(m-(i-2)+1)!}{(\beta_{i-2,j})!\ (m-(i-2)+1-\beta_{i-2,j})!}-\right.$$
$$\left.-\frac{(m-(i-1)+1)!}{(\beta_{i-1,j})!\ (m-(i-1)+1-\beta_{i-1,j})!}\right). \qquad (3)$$

Выразим $r_{i-2,j}$ через величину $r_{i-1,j}$. Для этого воспользуемся зависимостями:

$$(m-(i-2)+1)!=(m-(i-1)+1)!(m-(i-2)+1);$$
$$(\beta_{i-2,zj})!=(\beta_{i-1,zj}+\left|a_{i-2,j}-a_{i-1,j}\right|)!$$

или

– для $\left|u_{i-2,j}-u_{i-1,j}\right|=1$:

$$(m-(i-2)+1-\beta_{i-2,j})!=(m-(i-1)-\beta_{i-1,j}+1)!; \qquad (4)$$

– для $\left|u_{i-2,j}-u_{i-1,j}\right|=0$:

$$(m-(i-2)+1-\beta_{i-2,j})!=(m-(i-1)-\beta_{i-1,j}+1)!\times$$
$$\times((m-(i-1)-\beta_{i-1,zj}+1)+1). \qquad (5)$$

Выразив числитель и знаменатель величины $r_{i-2,j}$ соответственно через выражения (4) и (5), можно получить соотношения, которые, в свою очередь, зависят от значений обработанных данных:

1) $\left|u_{i-2,j}-u_{i-1,j}\right|=1$:

$$r_{i-2,j}=\frac{(m-(i-2)+1)\ (m-i+1)!}{(\beta_{i-1,zj}+1)\ (\beta_{i-1,j})!\ (m-(i-1)+1-\beta_{i-1,zj})!}; \qquad (6)$$

2) $\left|u_{i-2,j}-u_{i-1,j}\right|=0$:

$$r_{i-2,j}=\frac{(m-(i-2)+1)\ (m-i+1)!}{(m-(i-1)-\beta_{i-1,zj}+2)\ (\beta_{i-1,j})!\ (m-(i-1)+1-\beta_{i-1,zj})!}. \qquad (7)$$

С учетом соотношений (6) и (7) выражение (3) для величины $p_{i-1,j}$ принимает вид:

1) $\left|u_{i-2,j}-u_{i-1,j}\right|=1$:

$$p_{i-1,j}=r_{i-1,j}\left(\frac{(m-(i-2)+1)}{(\beta_{i-1,j}+1)}-1\right); \qquad (8)$$

2) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 0$:

$$p_{i-1,j} = r_{i-1,j} \left(\frac{(m-(i-2)+1)}{(m-(i-1)-\beta_{i-1,j}+2)} - 1 \right). \quad (9)$$

На основе формул (8) и (9) можно выразить величину $r_{i-1,j}$ с помощью $p_{i-1,j}$ в целях получения следующих выражений:

1) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 1$:

$$r_{i-1,j} = p_{i-1,j} (\beta_{i-1,j}+1) / ((m-i+3) - (\beta_{i-1,j}+1)); \quad (10)$$

2) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 0$:

$$r_{i-1,j} = p_{i-1,j} (m-(i-1)-\beta_{i-1,j}+2) / ((m-i+3) - (m-(i-1)-\beta_{i-1,j}+2)). \quad (11)$$

Заменив в соотношениях (1) и (2) величину $r_{i-1,j}$ на формулы (10) и (11), можно получить следующие случаи:

1) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 1$ и $\left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right| = 1$:

$$p_{i,j} = p_{i-1,j} (\beta_{i-1,j}+1) / (m-(i-1)+1); \quad (12)$$

2) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 1$ и $\left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right| = 0$:

$$p_{ij} = p_{i-1,j} \left(\frac{(\beta_{i-1,j}+1)\beta_{ij}}{(m-(i-2)-\beta_{i-1,j})(m-i+2)} \right); \quad (13)$$

3) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 0$ и $\left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right| = 1$:

$$p_{ij} = p_{i-1,j} \left(\frac{(m-i-\beta_{i-1,j}+3)(m-i+2-\beta_{i-1,j})}{(\beta_{i-1,j})(m-i+2)} \right); \quad (14)$$

4) $\left| u_{i-2,j} - u_{i-1,j} \right| = 0$ и $\left| u_{i-1,j} - u_{ij} \right| = 0$:

$$p_{ij} = p_{i-1,j} (m-i-\beta_{i-1,j}+3) / (m-i+2). \quad (15)$$

Выражения (12) – (15) позволяют вычислять значение весового коэффициента p_{ij} элемента u_{ij} через весовой коэффициент $p_{i-1,j}$ предыдущего элемента $u_{i-1,j}$. Из их анализа следует, что для получения величины p_{ij} требуется знать величину $p_{i-1,j}$, которая известна на предыдущем шаге обработки.

Начальное значение весового коэффициента $p_{1,j}$ на первом шаге обработки для двух случаев равно:

1) $\left| u_{0,j} - u_{1,j} \right| = 1$: $p_{1,j} = V(\vartheta)(m+1-2\vartheta)/(m+1)$;

2) $\left| u_{0zj} - u_{1zj} \right| = 0$: $p_{1,j} = 2\vartheta V(\vartheta)/(m+1)$.

Достоинством рекуррентного процесса нахождения весовых коэффициентов p_{ij} двоичных элементов является то, что на каждом шаге обработки не требуется определять величины $r_{i-1,j}$ и r_{ij}. Это приводит к сокращению избыточного количества операций на кодирование двоичных данных.

С учетом выражений (12) – (15) величина кода L_j для j-го столбца матрицы знаков определяется по формуле

$$L_j = \sum_{i=1}^{m} \ell_{ij} = \sum_{i=1}^{m} u_{ij} p_{ij}\,;\; \ell_{ij} = \begin{cases} p_{ij}, & \to u_{ij}=1; \\ 0, & \to u_{ij}=1. \end{cases}$$

Проведенная экспериментальная обработка массивов двоичных данных на основе разработанного представления показала, что коэффициент сжатия изменяется в пределах от 1,7 до 2,5 раза в зависимости от класса изображения.

Пример вычисления кода для j-й двоичной последовательности $U^{(j)}=\{1;0;0;0\}$, т.е. $u_{1,j}=1$; $u_{2,j}=0$; $u_{3,j}=0$; $u_{4,j}=0$. Для заданной последовательности соответствуют следующие начальные параметры: длина двоичной последовательности $m=4$; значение нулевого элемента по умолчанию равно $u_{0,j}=0$; число серийных перепадов $2\vartheta = \beta_{0,j} = 2$.

Этап 1. Вычисление значения весового коэффициента $p_{1,j}$ на первом шаге $i=1$. Поскольку $\left|u_{0,j}-u_{1,j}\right|=1$, то $p_{1,j} = V(\vartheta)(m+1-2\vartheta)/(m+1)$, где $V(\vartheta)$ – суммарное количество двоичных последовательностей с количеством серийных перепадов, равным $\vartheta=1$:

$$p_{1,j} = V(\vartheta)(m+1-2\vartheta)/(m+1) = 10\,(4+1-2)/(4+1) = 30/5=6\,.$$

Этап 2. Нахождение значения весового коэффициента $p_{2,j}$ на втором шаге $i=2$. Поскольку $\left|u_{0,j}-u_{1,j}\right|=1$, а $\left|u_{1,j}-u_{2j}\right|=1$, то величина $p_{2,j}$ определяется по формуле (12) для значения $\beta_{1,j} = \beta_{0,j} - \left|u_{0,j}-u_{1j}\right| = 2-1=1$:

$$p_{2,j} = p_{1,j}\,(\beta_{1,j}+1)/(m-(i-1)+1) = 6(1+1)\,/\,(4+(2-1)+1) = 12\,/\,4 = 3\,.$$

Этап 3. Определение весового коэффициента $p_{3,j}$ на третьем шаге $i=3$. Поскольку $\left|u_{1,j}-u_{2j}\right|=1$, а $\left|u_{2,j}-u_{3j}\right|=0$, то величина $p_{3,j}$ определяется по формуле (13) для выражения $\beta_{2,j} = \beta_{1,j} - \left|u_{1,j}-u_{2j}\right| = 1-1=0$:

$$p_{3j} = p_{2,j}\left(\frac{(\beta_{2,j}+1)\beta_{3j}}{(m-(i-2)-\beta_{i-1,j})(m-i+2)}\right) = 3\,\frac{0}{(4-1-0)(4-3+2)} = 0\,.$$

Этап 4. Формирование значение кода в соответствии с формулой: $L_j = \sum_{i=1}^{m} \ell_{ij} = \sum_{i=1}^{m} u_{ij} p_{ij}$.

Подставив в последнюю численные значения, можно получить следующую оценку кода матрицы знаков:

$$L_j = \sum_{i=1}^{m} u_{ij} p_{ij} = 1\times6+0\times3+0\times0+0\times0 = 6\,.$$

3. Выводы

Разработан метод сжатия матрицы знаков компонент трансформант, который отличается от аналогов обработкой двоичных данных с заранее неизвестными статистическими свойствами, что дает возможность повысить компактность представления данных в два раза с одновременным увеличением быстродействия в 1,5 раза.

Научная новизна:

1) В отличие от известных подходов в предложенном методе сжатие достигается путем исключения структурной избыточности, обусловленной закономерностями в двоичных серийных перепадах. Это позволяет обеспечить компактное представление массивов двоичных данных с априорно неизвестными статистическими характеристиками.

2) Предложена рекуррентная технология определения весовых коэффициентов структурного представления, которая отличается от других подходов тем, что весовой коэффициент последующего элемента вычисляется на основе информации о его предшественнике, что обеспечивает сокращение количества операций на 30-50%.

Практическая значимость заключается в применении разработанного метода кодирования технологических процессов компактного представления изображений на стадии обработки двоичных матриц знаков для компонент трансформант. В зависимости от класса изображения обеспечивается степень сжатия двоичных массивов до 2,5 раза.

Список 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.** *Adams M.D.* The JPEG-2000 Still Image Compressio 1 N 2412, Sept. 2001. 680с. **3.** *Королев А.В., Баранник В.В.* Оценка количества информации изображения по числу серий одинаковых элементов // Системи обробки інформації. Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. 2002. Вип. 2 (18). С. 43 – 46. **4.** *Баранник В.В.* Метод двумерного структурного кодирования двоичных данных // Радиоэлектроника и информатика. 2003. №1. С. 109 – 112.

Поступила в редколлегию 08.08.2007

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков - 23, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

Хаханова Ирина Витальевна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.