

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник<sup>1</sup>, А.В. Яковенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт МВД Украины

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО ПЛАВАЮЩЕГО ПОЛИАДИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАНТ УОЛША

Излагаются особенности и основные этапы создания технологии сжатия изображений с контролируемой погрешностью. Технология строится на базе организации двумерного плавающего полиадического кодирования трансформант двумерного дискретного преобразования Уолша. Разрабатываются следующие методологические принципы: компактное представление видеоданных, с контролируемой погрешностью; формирование параметров процесса обработки, обеспечивающих увеличение степени сжатия изображений при сохранении заданного уровня достоверности. Сжатие изображений достигается за счет устранения комбинаторной и психовизуальной избыточности в трансформантах двумерного преобразования Уолша. Проводится оценка степени сжатия видеоданных в зависимости от класса обрабатываемых изображений.

**Ключевые слова:** сокращение избыточности, двумерное кодирование, трансформанты преобразования Уолша.

### Введение

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Дальнейшее развитие информационных систем неразрывно связано с расширением спектра видеоинформационного обеспечения [1]. **Актуальной научно-прикладной проблемой**, требующей своего решения, является увеличение степени компактного представления изображений с заданным уровнем достоверности информации [2; 3]. Существующие технологии компрессии видеоданных, обеспечивающие наибольшие степени сжатия, строятся на базе методов, осуществляющих устранение психовизуальной избыточности [2; 3]. Проявляется противоречие между коэффициентом сжатия и степенью потерь информации. Известные методики количественной оценки степени потерь информации не позволяют в полной мере определить важность и смысловую нагрузку устраняемой семантической избыточности. Разработанный и исследованный в работе [4] методы кодирования видеоданных без внесения погрешности не нашли должной реализации в информационно-технологических процессах сжатия изображений. Поэтому **цель исследований** заключается в построении технологии компрессии видеоданных с контролируемой погрешностью.

### Методологические основы технологии компрессии

Построение технологии компрессии изображений базируется на следующих методологических уровнях:

1) разработка метода компактного представления видеоданных, включающего в себя комплекс подходов для устранения избыточности изображений и формирование кодограмм их сжатого представления;

2) создание методики формирования параметров процесса сжатия изображений, обеспечивающей достижение максимального эффекта от реализации разработанного метода.

Первый методологический характеризуется тем, что:

– сжатие видеоданных обеспечивается за счет устранения комбинаторной и психовизуальной избыточности в трансформантах двумерного преобразования Уолша;

– используется математический аппарат двумерных ортогональных преобразований и методов комбинаторного кодирования. При этом трансформанта ДПУ представляется в виде двумерного плавающего полиадического числа;

– формирование кодограмм проводится для вычисленного значения кода-номера двумерного плавающего полиадического числа. Значение кода-номера зависит от длины кодограммы, что позволяет реализовать принцип равномерности кодовых конструкций;

– служебные данные несут информацию о структуре и формах изображений. Такая информация является определяющей для восстановления и распознавания объектов изображения. Кроме того, статистические характеристики служебных данных отличаются нестационарностью. Отсюда упаковка служебных данных осуществляется на основе кодирования без внесения погрешности на основе устранения избыточности не статистической природы.

В соответствии с первым уровнем второй методологический уровень содержит формирование таких параметров как:

– размерность массивов видеоданных на которые разбивается исходное изображение. При этом необходимо учитывать, что с одной стороны наибольшее значение степени концентрации энергии в трансформантах

ДПУ достигается для двумерных локальных блоков с однородной структурной. Значит необходимо ограничивать размеры блоков изображений и использовать двумерное дискретное ортогональное преобразование. С другой стороны с ростом размеров блоков существует возможность для исключения потенциально большего количества комбинаторной избыточности;

– фактор качества, влияющий с одной стороны на количество сокращаемой психовизуальной избыточности, а с другой стороны на качество восстанавливаемых изображений. Для этого необходимо проанализировать возможность использования дополнительной квантизации компонент трансформант ДПУ и возможные варианты нормировки их значений;

– длина кодограммы; данный параметр влияет на:

• степень сжатия, так как управляет количеством компонент трансформант, для которых вычисляется один код;

• время обработки, поскольку появляется возможность изменять количество обращений к ВЗУ и количество тактов частоты микропроцессора для выполнения машинной операции;

– структурные характеристики процессов устранения избыточности при упаковке служебных данных.

В свою очередь на выбор значения данного параметра влияет целевое назначение формируемых кодограмм (передача по каналам связи или хранение на ВЗУ)

### Создание технологии сжатия изображений

В соответствии с особенностями методологических уровней предлагается осуществлять компактное представление изображений на основе следующих этапов (рис. 1):

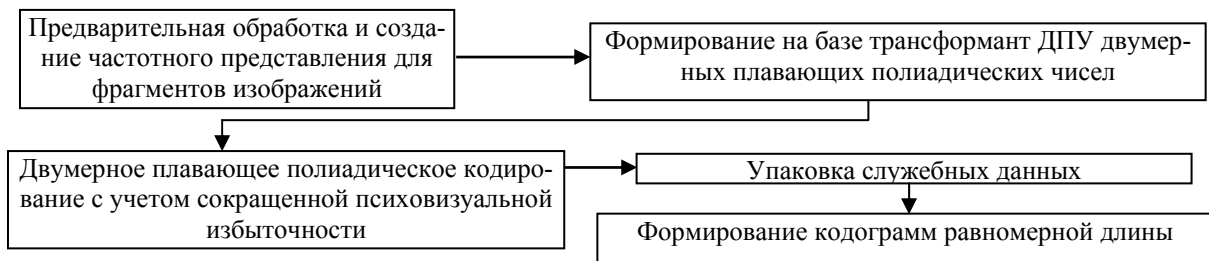


Рис. 1. Основные этапы технологии сжатия видеоданных

**1. Предварительный этап.** На данном этапе проводится разбивка исходного массива изображения, размером  $v_{стр} \times v_{стб}$  на массивы меньших размеров  $n \times n$ :  $\Delta_{стр} = v_{стр}/n > 1$ ;  $\Delta_{стб} = v_{стб}/n > 1$ , где  $\Delta_{стр}$ ,  $\Delta_{стб}$  – приращение размера изображения соответственно по строкам и по столбцам.

Чем больше значения  $\Delta_{стр}$  и  $\Delta_{стб}$  тем меньше размеры фрагмента изображения, для которого формируется трансформанта преобразования Уолша. Регулированием размерами  $n \times n$  можно добиться уменьшение (увеличение) степени не стационарности статистических свойств локальных блоков и как следствие увеличить (уменьшить) корреляцию между элементами внутри локальных областей. Кроме того, быстрое ортогональное преобразование предполагает обработку над массивами, размеры которых кратны степени два, т.е. величина  $\log_2 n$  является целым числом. В связи с этими особенностями размеры  $n \times n$  массивов видеоданных выбираются равными  $n=4$ ;  $n=8$ ,  $n=16$  и  $n=32$ . Количество  $v_m$  массивов видеоданных определяется по формуле  $v_m = \Delta_{стр} \times \Delta_{стб}$ .

Образование блочной структуры кадра изображения осуществляется для каждой цветовой плоскости полноцветного изображения. Структурированные по блочно плоскости изображения подвергаются двумерному дискретному преобразованию Уолша.

**2. Выполнение двумерного преобразования Уолша (ДПУ).** При этом используется свойство разделимости ортогональных базисов, а именно существование возможности выполнения двумерных ортогональных преобразований на основе одномерных ортогональных базисов [5]. В этом случае преобразование Уолша двумерного массива с размерностью  $n \times n$  задается следующими операторами:

$$Y(n, n) = \left(1/n^2\right) F_y(n) X(n, n) F_y^T(n); \quad (1)$$

где  $X(n, n)$  – массив размером  $n \times n$ , составленный из элементов исходного изображения;  $1/n^2$  – нормирующий множитель;  $Y(n, n)$  – матрица коэффициентов  $y_{k\ell}^n$  преобразования (трансформанта) размерности  $n \times n$ ;  $y_{k\ell}^n$  – вещественное (в общем случае) значение компоненты трансформанты ДПУ;  $F_y(n)$  – столбец матрицы дискретных значений базисной функции преобразования Уолша;  $F_y^T(n)$  – транспонированный столбец матрицы дискретных значений базисной функции преобразования Уолша. Для ДПУ  $F_y^T(n) = F_y(n)$ .

На данном этапе формируются такие характеристики процесса сжатия как:

1) среднеквадратический показатель погрешности (СКПП)  $\sigma$  восстановленных изображений;

2) динамические диапазоны  $d_{k\ell}$  компонент трансформант;

3) количество устраняемой психовизуальной избыточности.

Ключевым параметром, влияющим на данные характеристики является нормирующий множитель. Для преобразования Уолша существует три основных принципа проведения нормировки [5 – 7]:

- вариант 1 – на приемной стороне;
- вариант 2 – частично на передающей и частично на приемной сторонах;
- вариант 3 – на передающей стороне.

Когда нормировка осуществляется полностью на приемной стороне, то соотношение (1) примет вид

$$Y(n, n) = F_y(n) X(n, n) F_y(n), \quad (2)$$

а соотношение для обратного преобразования соответственно

$$X(n, n) = \frac{1}{n^2} F_y(n) Y(n, n) F_y(n). \quad (3)$$

Для варианта нормировки частично на передающей и приемной сторонах, то соотношения для прямого и обратного преобразования Уолша примут вид:

$$Y(n, n) = \frac{1}{n} F_y(n) X(n, n) F_y(n); \quad (4)$$

$$X(n, n) = \frac{1}{n} F_y(n) Y(n, n) F_y(n), \quad (5)$$

Когда нормировка полностью проводится на передающей стороне, то соотношения (4) и (5) преобразуются соответственно к виду:

$$Y(n, n) = \frac{1}{n^2} F_y(n) X(n, n) F_y(n); \quad (6)$$

$$X(n, n) = F_y(n) Y(n, n) F_y(n), \quad (7)$$

Сравнительный анализ различных вариантов нормировки показывает, что:

1) для третьего варианта нормировки (нормировка на приемной стороне) обеспечивается нулевое значение СКПП. В тоже время энтропия  $H_d$ , обусловленная неравномерностью динамических диапазонов трансформанты, достигает наибольшего значения (до 9,5 бит/элемент). Такой недостаток обусловлен ростом динамического диапазона компонент трансформант на передающей стороне (энтропия может превышать энтропию исходного изображения);

2) наименьшее значение (максимум 2,63 бит/элемент) величины  $H_d$  обеспечивается для первого варианта, когда нормировка полностью проводится на передающей стороне. Недостатком данного принципа нормировки является увеличение значения среднеквадратического показателя погрешности,  $\sigma \geq 2$ ;

3) третий вариант нормировки относительно второго варианта отличается:

- снижением в среднем в 10 раз значение величины  $\sigma$ ;

- увеличением в среднем в 2 раза величины  $H_d$ ;

4) значение величины СКПП с ростом размеров обрабатываемых массивов уменьшается.

Применение дополнительной квантизации для компонент трансформанты ДПУ приводит к резкому снижению качества восстановленных изображений (значение величины СКПП увеличивается в несколько раз).

Отсюда следует, что управление количеством сокращаемой психовизуальной избыточности и величиной среднеквадратической погрешности восстановления изображений обеспечивается за счет выбора режима нормировки компонент трансформанты ДПУ.

После выполнения нормировки вещественное значение компоненты  $y''_{k\ell}$  округляется до целого значения  $y'_{k\ell}$ ,  $y'_{k\ell} = [y''_{k\ell}]$ .

В результате частичной нормировки компонент трансформант ДПУ и округления их значений до целого осуществляется контролируемое сокращение психовизуальной избыточности.

**3. Формирование целочисленного массива абсолютных значений компонент ДПУ.** Данный этап состоит из процедуры построения на базе трансформанты, компоненты которой принимают значения в диапазоне

$$-d_{тр} \leq y'_{k;\ell} \leq d_{тр} \quad (8)$$

массива абсолютных значений компонент  $y_{k;\ell}$ , значения которых принадлежат отрезку  $[0; d_{тр}]$ .

Выполняется следующая переработка:

$$y_{k;\ell} = |y'_{k;\ell}|.$$

Для сохранения информации о знаке компоненты используется величина  $g_{k\ell}$ :

$$g_{k\ell} = \begin{cases} 0, & \rightarrow y_{k\ell} \geq 0; \\ 1, & \rightarrow y_{k\ell} < 0. \end{cases}$$

В результате вычисления величин  $g_{k\ell}$  для  $k=\overline{1, n}$  и  $\ell=\overline{1, n}$  формируется матрица знаков  $G$ :  $G = \{g_{k\ell}\}$ ,  $k=\overline{1, n}$ ,  $\ell=\overline{1, n}$ ,  $g_{k\ell} \in \{0; 1\}$ ;

На выходе данного этапа формируются два массива:

- трансформанта  $Y$  абсолютных целочисленных значений компонент  $y_{k;\ell}$  двумерного преобразования Уолша;

- двоичная матрица  $G$  знаков компонент трансформант ДПУ.

Переход к абсолютным значениям компонент обусловлен такими причинами:

- уменьшением в среднем в 2 раза динамического диапазона обрабатываемых компонент;
- повышение степени неравномерности распределения динамических диапазонов. Это объясня-

ется тем, что диапазоны некоторых компонент имеют равные по модулю, но противоположные по знаку значения динамических диапазонов.

Данные обстоятельства приводят к уменьшению энтропии распределения значений динамических диапазонов. Тем самым увеличиваются потенциальные возможности для повышения степени сжатия изображений.

**4. Четвертый этап процесса сжатия связан с сокращением избыточности в трансформантах ДПУ.** Для этого организуется:

- формирование на базе трансформанты Уолша двумерных плавающих полиадических чисел;
- нумерация полиадических чисел.

Процесс формирования компактного представления трансформанты основывается на рекуррентной схеме. При этом осуществляется последовательное образование двумерных полиадических чисел по столбцам и по строкам. Код-номер строится путем рекуррентного добавления очередного элемента полиадического числа. Для исключения переполнения машинного слова перед каждым добавлением проводится проверка на переполнения машинного слова. Процесс формирования кода-номера с учетом выдвинутых требований состоит из следующих основных этапов [4, 6].

Первый этап – формирование кода-номера для отдельного столбца трансформанты:

$$N_{1,\ell} = y_{\ell,1}; N_{k\ell} = N_{k-1,\ell} d_{k\ell} + y_{k\ell}, \quad (9)$$

где  $N_{k\ell}$ ,  $N_{k-1,\ell}$  –  $\ell$ -й код-номер соответственно для  $k$  и  $(k-1)$ -го элементов;  $d_{k\ell}$  – динамический диапазон компоненты  $y_{k\ell}$ .

Величина  $V_{k\ell}$ , равная накопленному произведению оснований  $d_{k\ell}$  для  $k$  элементов

$$V_{k\ell} = \prod_{\gamma=1}^k d_{\ell\gamma}. \text{ Тогда при добавлении к коду-номеру}$$

$N_{k-1,\ell}$  очередного элемента  $y_{k\ell}$  переполнения машинного слова не произойдет, если выполняется неравенство  $V_{k\ell} \leq 2^M - 1$ , где  $2^M - 1$  – наибольшее число, которое может храниться в машинном слове длиной  $M$  элементов.

Поскольку выполняется неравенство  $V_{k\ell} \geq N_{k\ell}$ . Тогда  $N_{k\ell} \leq 2^M - 1$ .

Процесс формирования кода-номера  $N_{n_{стр},\ell}$ , для  $\ell$ -го столбца массива заканчивается тогда, когда будет обработан последний элемент:

$$N_{n_{стр},\ell} = N_{n_{стр}-1,\ell} d_{\ell,n_{стр}} + y_{\ell,n_{стр}} \\ \text{при } V_{n_{стр},\ell} \leq 2^M - 1. \quad (10)$$

После получения всех кодов-номеров  $N_{n_{стр},\ell}$ , для  $1 \leq \ell \leq n_{стб}$  столбцов, образуется вектор кодов-номеров столбцов трансформанты.

Второй этап вычисления кода-номера трансформанты – формирование кода-номера по столбцам. По аналогии с предыдущим этапом процесс формирования  $N^{(\ell, n_{стр})}$  – кода-номера по  $\ell$  столбцам задается следующими соотношениями:

$$N^{(1, n_{стр})} = N_{1, n_{стр}};$$

$$N^{(\ell, n_{стр})} = N^{(\ell-1, n_{стр})} V_{\ell}^{(n_{стр})} + N_{n_{стр}, \ell}, \quad (11)$$

где  $N^{(\ell, n_{стр})}$ ,  $N^{(\ell-1, n_{стр})}$  – коды-номера соответственно для  $\ell$  и  $(\ell-1)$  столбцов.

В этом случае

$$V^{(\ell, n_{стр})} = \prod_{\gamma=1}^{\ell} \prod_{k=1}^{n_{стр}} d_{\gamma k} = \prod_{\gamma=1}^{\ell} V_{\gamma k}^{(n_{стр})}.$$

Выполняется неравенство  $V^{(\ell, n_{стр})} \leq 2^M - 1$ .

Исключение переполнения разрядности машинного слова обеспечивается за счет выполнения неравенства  $V^{(\ell, n_{стр})} \geq N^{(\ell, n_{стр})}$ .

Формирование кода-номера для трансформанты заканчивается тогда, когда будет получен код-номер  $N^{(n_{стб}, n_{стр})}$  (обработаны все строки в пределах одного столбца), равный

$$N^{(n_{стб}, n_{стр})} = N^{(n_{стб}-1, n_{стр})} V_{n_{стб}}^{(n_{стр})} + N_{n_{стб}}^{(n_{стр})}$$

$$\text{при } V^{(n_{стб}, n_{стр})} = \prod_{j=1}^{n_{стб}} V_j^{(n_{стр})} \leq 2^M - 1, \quad (12)$$

Значит, разработано кодирование данных на основе структурной нумерации. Разработанное кодирование обеспечивает:

- исключение избыточности одновременно по двум координатам трансформанты без внесения погрешности;
- формирование кодограмм равномерной длины.

**5. Упаковка служебной информации.** На пятом этапе процесса сжатия осуществляется формирование компактного представления матриц знаков компонент. Это позволяет дополнительно повысить степень сжатия изображений.

После выполнения данного этапа завершается процесс формирования кодовых конструкций сжатого представления изображения.

Экспериментальная оценка технологии компрессии реалистических изображений показала, что степень сжатия увеличивается в среднем в 2 раза и находится на уровне 8 – 30 раз.

## Выводы

1. Построена технология компрессии изображений, базирующаяся на:

1) методе компактного представления видеоданных, с контролируемой погрешностью восстановления изображений. Сжатие данных строится на

следующих методологических подходах:

– устраняется комбинаторная и психовизуальная избыточность в трансформантах двумерного преобразования Уолша;

– используется математический аппарат двумерных ортогональных преобразований и методов комбинаторного кодирования. При этом трансформанта ДПУ представляется в виде двумерного плавающего полиадического числа;

– формирование кодограмм проводится для вычисленного значения кода-номера двумерного плавающего полиадического числа;

– значение кода-номера зависит от длины кодограммы, что позволяет реализовать принцип равномерности кодовых конструкций;

2) методики формирования параметров процесса сжатия изображений, обеспечивающих увеличение степени сжатия изображений при сохранении заданного уровня достоверности при их восстановлении.

2. Коэффициент сжатия, обеспечиваемый двумерным плавающим полиадическим кодированием изменяется от 8 до 30 раз в зависимости от степени насыщенности изображений.

*Новизна научных результатов состоит в том, что созданный метод сжатия отличается от существующих методов тем, что:*

– увеличение степени компрессии изображений обеспечивается за счет дополнительного устранения комбинаторной избыточности, обусловленной учетом неоднородности динамических диапазонов трансформант преобразования Уолша. Для этого трансформанты преобразования Уолша представляются как двумерные полиадические числа;

– двумерное полиадическое кодирование про-

водится для плавающего количества компонент трансформант ДПУ для кодограмм равномерной длины. Это обеспечивает дополнительное увеличение степени сжатия трансформант ДПУ в результате снижения избыточного количества незначимых разрядов в кодовых конструкциях сжатого представления изображений.

### Список литературы

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Exploiting Hyperspectral Imagery // IEEE Signal Processing Magazine. – 2002. – Vol 19. – № 1. – 80 p.
3. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
4. Баранник В.В., Яковенко А.В. Методологический подход для формирования полиадических чисел на основе аппроксимации видеоданных дискретными базисами Уолша // Системи управління, навігація та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2008. – № 2. – С. 135-139.
5. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
6. Королев А.В., Баранник В.В., Метод сокращения избыточности изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 2. – С. 85-88.
7. Баранник В.В., Красноуцький А.А., Сидоренко Н.Ф. Метод кодирования трансформант Уолша в системах мониторинга Земли // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ІС, 2007. – Вип. 8 (62). – С. 2-5.

Поступила в редакцию 4.05.2008

**Рецензент:** д-р тех. наук, проф. В.И. Хаханов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДВОВИМІРНОГО ПЛАВАЮЧОГО ПОЛІАДИЧНОГО КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМАНТ УОЛША

Баранник В.В., Яковенко О.В.

*Висловлюються особливості і основні етапи створення технології стиснення зображень з контрольованою погрішністю. Технологія будується на базі організації двовимірного плаваючого поліадичного кодування трансформант двовимірного дискретного перетворення Уолша. Розробляються наступні методологічні принципи: компактне представлення відеоданих, з контрольованою погрішністю; формування параметрів процесу обробки, що забезпечують збільшення ступеня стиснення зображень при збереженні заданого рівня достовірності. Стиснення зображень досягається за рахунок скорочення комбінаторної і психовізуальної надмірності в трансформантах двовимірного перетворення Уолша. Проводиться оцінка ступеня стиснення відеоданих залежно від класу оброблюваних зображень.*

**Ключові слова:** скорочення надмірності, двовимірне кодування, трансформанти перетворення Уолша.

## INFORMATION TECHNOLOGY OF COMPRESSION OF IMAGES ON THE BASIS OF THE TWO-DIMENSIONAL FLOATING POLYADIC ENCODING OF TRANSFORMANT UOLSH

Barannik V.V., Yakovenko A.V.

*Features and basic stages of creation of technology of compression of images are expounded with the controlled error. Technology is built on the base of organization of the two measurements floating polyadical encoding of transforms of two measurements discrete transformation of Walsh. The followings methodological principles are developed: compact presentation of videoinformation, with the controlled error; formings of parameters of process of treatment, providing the increase of degree of compression of images at the maintainance of the set level of authenticity. The compression of images is arrived at due to the removal of combinatory and visual surplus in the transforms of two measurements transformation of Walsh. The estimation of degree of compression of videoinformation is conducted depending on the class of the processed images.*

**Keywords:** reduction of surplus, two-dimensional encoding, transformant transformations of Uolsh.