

он разгоняется до 2,5 - 4 тыс. об/мин и такие скоростные режимы являются приемлемыми для резки монокристаллов на пластины. Важно подчеркнуть, что устойчивость кольцевого ротора при этом несколько увеличивается в сравнении с режимом холостого хода. Последний факт можно объяснить тем, что при смещении равнодействующая электромагнитных сил, которая прижимает ротор к концевнику динамометра (монокристаллу), значительно превышает случайно возникающие разнонаправленные возмущения, характерные для вращения кольцевого ротора без нагрузки, например, силы трения об опорную поверхность.

#### **Выводы:**

1. Свободный кольцевой ротор в силовом поле способен совершать устойчивое вращение, под действием радиальной односторонней нагрузки, в широком диапазоне скоростей (до 2,5 - 4 тыс. об/мин и более), что соответствует технологическому процессу резки полупроводниковых монокристаллов.

2. Под действием не симметричной нагрузки кольцевой ротор получает некоторое смещение от первоначального положения и создаёт реакцию, которая пропорциональна полученному смещению, при снятии нагрузки – возвращается в исходное положение.

3. Величиной смещения кольцевого ротора от исходного положения можно устанавливать силу взаимодействия инструмента с монокристаллом, то есть силу резания.

#### **Литература:**

1. А.С. 1435082 СССР, МКИ В24d 17/00 Устройство для резки монокристаллов на пластины/ Ерошин С.С., Невзлин Б.И., Сорока В.П. (СССР) – №4193332; Заявлено 11.02.87; опубл. 01.07.88, Бюл. № 40. – 4 с.

2. Ерошин С.С. Определение сил, действующих на кольцевую пластинку, находящуюся во вращающемся магнитном поле. - "Збірник наукових праць СУДУ".- Сер. Машинобудування, 1998 - №2. – С.13 – 21.

УДК 621.391

В.Г. Иванов, Ю.В. Ломоносов

### **МОДИФИКАЦИЯ БАЗОВЫХ АЛГОРИТМОВ КОМПРЕССИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В JPEG-ФОРМАТЕ**

В данной работе приводятся результаты компьютерного моделирования сжатия некоторых классов изображений с использованием обобщенных преобразований Фурье (дискретное косинусное преобразование (DCT), преобразований Хаара) и вейвлет-преобразований на базе JPEG-технологий.

**1. Введение.** На сегодняшний день с файловым форматом JPEG связано практически все аппаратное и программное обеспечение. Однако есть все основания говорить, что ему на смену идет новый формат JPEG 2000, а также формат DjVu, использующий разделение изображений на "слои" и последующей раздельной обработкой каждого из них. Вместо дискретного косинусного преобразования, являющегося базовым для JPEG, JPEG-2000 и DjVu используют технологию вейвлет-преобразований, которая основана на представлении сигнала в виде суперпозиции специальных функций – волновых пакетов /1, 2, 3/. В результате при той же компрессии изображение получается более гладким и четким. Однако, следует отметить, что на сегодняшний день отсутствует адекватная модель описания изображений, которые являются, как правило нестационарными и имеющими сложную содержательную структуру. Поэтому это дает основание надеяться на то, что далеко не исчерпаны возможности классических методов обработки, которые бы учитывали как возможности преобразований, так и свойства получателя информации в виде изображений. Таким образом, если в ставшей уже классической схеме JPEG-компрессии, учесть корреляцию одноименных коэффициентов во всех фрагментах изображения и провести обработку косинусных коэффициентов в битовых плоскостях представления данных, то можно несколько повысить степень сжатия и соответственно качество обрабатываемых изображений. Эта работа является логическим продолжением исследований авторов, опубликованных ранее /4/.

**2. JPEG-компрессия изображений.** Идея замены одноцветного изображения, как непосредственного объекта кодирования, коэффициентами его двумерного преобразования Фурье известна давно /5/. Изображение подвергается унитарному преобразованию, и полученные в

результате коэффициенты преобразования квантуются, кодируются и передаются по каналу связи или записываются в архив.

Кодирование цветных изображений на основе обобщенных преобразований Фурье в терминах JPEG-технологий можно представить в виде блок-схемы, изображенной на рис. 1.

В силу того, что преобразования Фурье являются разделимыми, то результат воздействия двумерного унитарного преобразования можно находить в два этапа. Сначала выполняется одномерное преобразование по всем строкам матрицы изображения, а затем – по всем столбцам полученной матрицы.

Ядро одномерного косинусного преобразования для пункта 3 (рис.1.) имеет следующий вид:

$$L_x(0) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum X(m); L_x(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) \cos \frac{(2m+1)k\pi}{2N}. \quad (1)$$

В этой формуле  $X(m)$  значение отсчетов в строках соответствующих рабочих матриц, полученных на втором шаге JPEG-технологий,  $L_x(k)$  – коэффициенты дискретного косинусного преобразования, а значения  $m$  и  $k$  изменяются соответственно от 0 до  $N-1$  и от 1 до  $N-1$  с шагом один. Следует заметить, что множество базисных векторов фактически образуют класс дискретных многочленов Чебышева [6].

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{N}}, \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2m+1)k\pi}{2N} \right\} \quad (2)$$

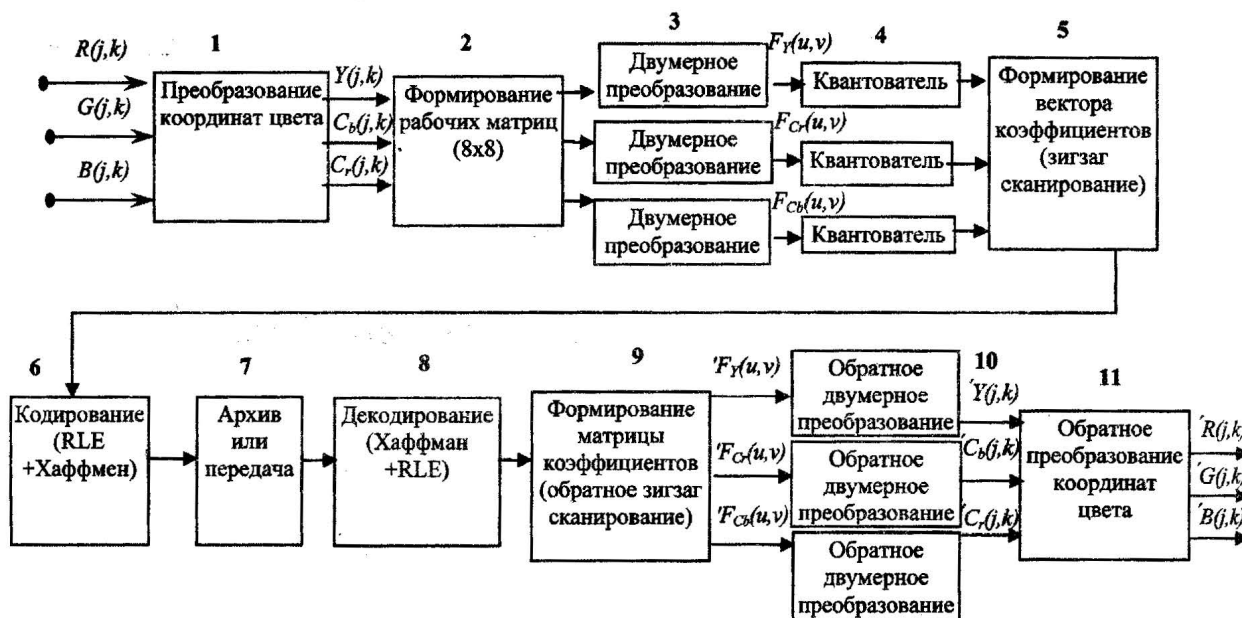


Рис. 1. Схема кодирования цветных изображений по методу JPEG-технологии.

В случае использования преобразований Хаара для получения коэффициентов необходимо вычислить предварительно обобщенные промежуточные суммы Хаара [7]:

$$X_i^n = \sum_{k=2^{i-1}}^{2^i} X_k^{n-1} \text{ при } n=1, 2, \dots, (\log N - 1), i = 1, 2, \dots, \frac{N}{2^n}, \quad (3)$$

а затем получить и сами коэффициенты:

$$C_{mj} = \frac{1}{N} 2^{\frac{m-1}{2}} \left[ X_k^{(\log N - 1) - m} - X_{k+1}^{(\log N - 1) - m} \right], \quad (4)$$

где  $m=1, 2, \dots, \log N; j=1, 2, \dots, 2^{m-1}$ , а для выражения, стоящего в квадратных скобках  $m=m-1, k=2j-1$ .

Свободный член определяется выражением:

$$C_{01} = \frac{1}{N} \left[ X_k^{(\log N - 1)} + X_{k+1}^{(\log N - 1)} \right], \quad (5)$$

причем значения  $X^0$  в (5) являются исходными данными матрицы яркости и цветности.

На практике, реализация вейвлет-преобразований (пункт 3, рис.1) сводится к применению биортогональных вейвлет-базисов, в которых формула разложения (6) и формула синтеза (7) являются основными.

Если  $\{a_i\}$  – коэффициенты разложения остаточного члена, то  $\{b_i\}$  и  $\{c_i\}$  – коэффициенты соответственно нового остаточного члена

$$b_i = \sum_s h_s a_{2i+s} \quad \text{и} \quad c_i = \sum_s g_s a_{2i+s} \quad (6)$$

Аналогично, если известны коэффициенты  $\{b_i\}$  и  $\{c_i\}$ , то коэффициенты  $\{a_i\}$  можно восстановить по формуле

$$a_i = \sum_s h_s b_{i-s} + \sum_s g_s c_{i-s} \quad (7)$$

Отличие от ортогонального случая заключается в том, что для разложения и восстановления сигнала используются две разные пары квадратурных зеркальных фильтров: пара  $\{\tilde{h}, \tilde{g}\}$  при разложении и пара  $\{h, g\}$  при восстановлении. Основное уравнение, в этом случае имеет вид

$$\overline{\tilde{h}(\omega)\tilde{h}(\omega)} + \overline{\tilde{h}(\omega+\pi)\tilde{h}(\omega+\pi)} = 2$$

Для этого уравнения имеется семейство решений:

$$\tilde{h}_{n,m}(\omega) = \sqrt{2} \left( \frac{1+e^{i\omega}}{2} \right)^n; \quad h_{n,m}(\omega) = \sqrt{2} \left( \frac{1+e^{i\omega}}{2} \right)^2 P_m \left( \sin^2 \frac{\omega}{2} \right) e^{-im\omega} \quad (8)$$

$$P_m(x) = \sum_{s=0}^{m-1} C_{m-1+s}^s x^s$$

где – многочлен Дебеша.

В стандартном алгоритме компрессии, который используется в JPEG-формате, формирование вектора коэффициентов основано на зигзаг-сканировании (Z-сканирование) отсчетов спектра в каждом фрагменте изображения. Такое распределение вектора коэффициентов представлено на рис.2 (а). Дальнейшая обработка опирается на использование энтропийных методов кодирования.

Очевидно, что при разбиении всего изображения, на фрагменты размерностью 8x8 (пункт 2, рис. 1), можно предположить о существующей корреляционной связи между одноименными коэффициентами смежных фрагментов, которые также имеют сильные статистические зависимости. Данное обстоятельство позволяет сформировать вектор коэффициентов после дискретного косинусного преобразования в каждом фрагменте, теперь уже для всей плоскости изображения, а не в пределах фрагмента размерностью 8x8. Таким образом, вектор коэффициентов, поступающий на следующий этап JPEG-обработки, будет содержать сначала все первые коэффициенты всех фрагментов размерностью 8x8, полученных при Z-сканировании, затем все вторые и т.д..., рис. 2 (b).

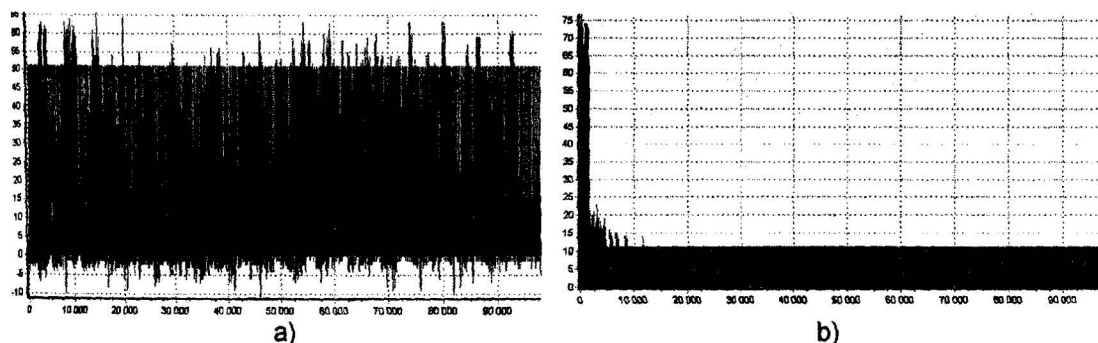


Рис.2. Распределение вектора коэффициентов:

- а) при Z-сканировании в каждом фрагменте изображения 8x8;  
 б) при последовательном отборе одноименных коэффициентов из фрагментов 8x8.

Близость одноименных отсчетов спектра смежных фрагментов изображения позволяет получить последовательность этих отсчетов более гладкой формы рис.2 (b), а использование битовых плоскостей в представлении данных должно более эффективно отразиться на результате работы методов сжатия без потерь (пункт 6, рис.1). Поразрядное распределение количества "0" и "1" в векторе коэффициентов, представленного на рис.2 (b), изображено на рис. 3 (а, б, в, г) (старшие разряды расположены справа, более темный цвет диаграммы отображает количество "0", а более светлый количество "1" в соответствующем разряде).

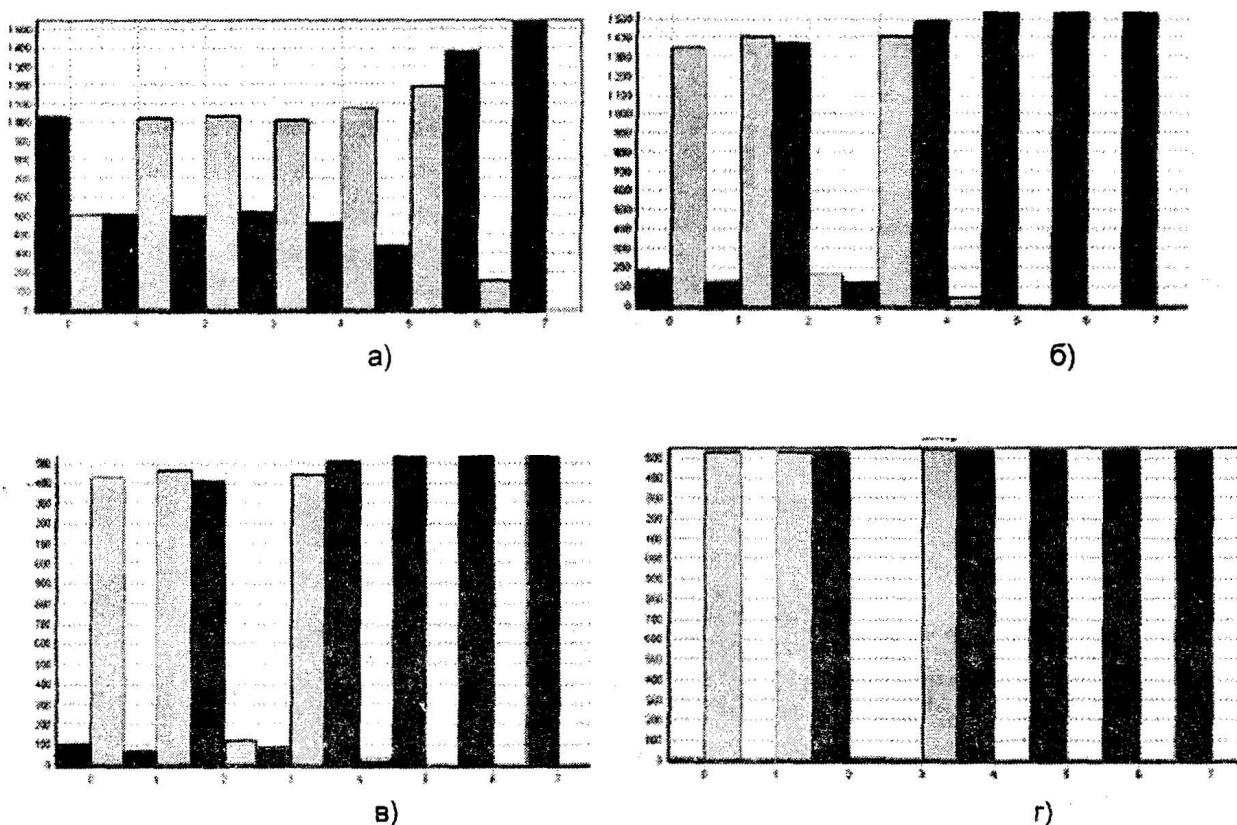


Рис.3. Количественное распределение битовых значений коэффициентов.  
а) для всех первых коэффициентов матриц 8x8; б) для всех вторых; в) для всех третьих;  
г) для всех четвертых.

Динамика изменения количественного распределения битовых значений наглядно иллюстрирует быструю стабилизацию данного процесса, и дальнейшее представление коэффициентов в битовых плоскостях более предпочтительно для последующего энтропийного кодирования обрабатываемого изображения, чем в базовом формате.

На рис. 4 приведена зависимость коэффициента сжатия (К сж) от среднеквадратической ошибки (СКО), при использовании различных методов сжатия, для изображения Peppers.bmp, взятого из библиотеки стандартных изображений <http://www.icsl.ucla.edu>.

В легенде рис. 4, используются следующие обозначения кривых зависимости коэффициента сжатия от среднеквадратической ошибки:

DCT-JPEG – классическая схема JPEG компрессии с использованием дискретного косинусного преобразования и распределения коэффициентов на рис. 2 а);

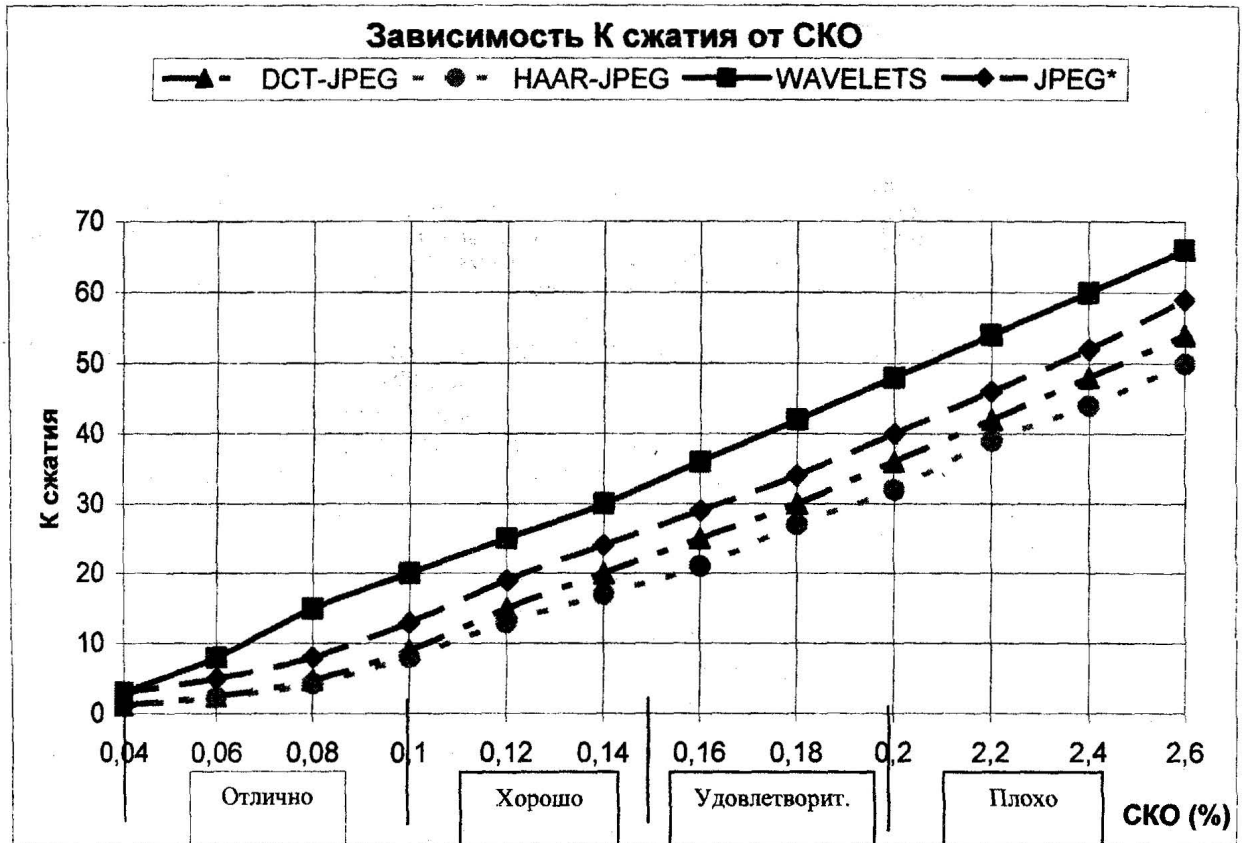


Рис.4. Зависимость коэффициента сжатия от СКО.

HAAR-JPEG – классическая схема JPEG компрессии с использованием преобразования Хаара;

WAVELETS – использование вейвлет-преобразования изображения (алгоритм Малла).

JPEG\* – использование DCT с Z-сканированием одноименных коэффициентов смежных фрагментов размерностью 8x8 и распределением коэффициентов рис 2 б), и использованием значений битовых плоскостей перед энтропийным кодированием.

**3. Выводы.** Как видно из полученных результатов, подобная модификация классической схемы компрессии, по методу JPEG-технологий, приводит к повышению качества обработки. Так, при хорошем качестве ( $E=0,12$ ) коэффициент сжатия предложенного метода превышает известный приблизительно на 19%-20%.

Диапазоны значений СКО, которыми можно характеризовать субъективную оценку качества изображения (отлично, хорошо, удовлетворительно, плохо), для других классов изображений могут несколько отличаться, но незначительно.

#### Литература:

1. Кравченко В.Ф. Рвачев В.А. Wavelet-системы и их применение в обработке сигналов// Зарубеж. радиоэлектроника. – 1996. – №4. с.3-20.
2. Новиков М.Я. Стечкин С.Б. Основы теории всплесков // Успехи мат. наук. – 1998. – 53., № 6 (324\_ – с. 53-128.
3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.:Изд-во ВУС, 1999.-208 с.
4. Иванов В.Г. Ломоносов Ю.В. Любарский М.Г. Фурье и вейвлет анализ изображений в плоскости JPEG технологий // Міжнародний науково-технічний журнал "Проблеми управління і інформатики". – 2004 № 5 С. 111-124.
5. Пратт, Кейн, Эндриус. Кодирование изображений посредством преобразования Адамара. – ТИИЭР, 1969, т. 57, № 1, с. 66-67.
6. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
7. Иванов В.Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 5.