

УДК 007:57+007:573.6+615.47

# Влияние степени сжатия и цветности на качество медицинских ультразвуковых изображений

А. Ю. Гладырева<sup>1</sup>, Н. Н. Будник<sup>2</sup>, А. С. Коваленко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАНУ, МОНУ (МНУЦИТиС), Киев, Украина

<sup>2</sup> Институт кибернетики им. В. М. Глушкова, Киев, Украина

## Резюме

В статье изложены теоретические аспекты математических алгоритмов компрессии медицинских изображений, обоснована целесообразность применения методов сжатия с потерями. Решаются задачи нахождения наиболее оптимального метода сжатия. Освещены вопросы эффективности применения алгоритмов сжатия с учетом требований медицинской диагностики. Приведена практическая реализация алгоритмов WAVELET и JPEG на примере сжатия ультразвуковых изображений с различными степенями качества. Полученные данные позволяют определить наиболее подходящую степень сжатия и визуально оценить возможность использования изображений в медицинских целях. Проведен анализ полученных результатов, на основании которого можно судить о неэффективности WAVELET сжатия ультразвуковых изображений. Причиной является слишком большое время кодирования–декодирования изображений и наличие значительного количества помех и визуальных искажений по сравнению с соответствующим размером ультразвукового изображения при JPEG компрессии. Рассмотрено влияние цветности изображения на качество сжатия каждым алгоритмом. При использовании технологий сжатия изображений с потерями сделан акцент на том, что одним из важнейших условий является сохранность диагностических данных на потенциально информативных участках изображения.

**Ключевые слова:** ультразвуковые изображения, методы сжатия изображений, алгоритм JPEG, алгоритм WAVELET, визуальные искажения, показатели качества ультразвуковых изображений.

Клин. информат. и Телемед.  
2010. Т.6. Вып.7. с.43–49

## Введение

Диагностика на основе визуального анализа медицинских изображений всегда имела широкое распространение во врачебной практике. С развитием информационных и компьютерных технологий в медицине появились новые возможности для обработки и повышения качества медицинских изображений. Это особенно важно для телемедицинских систем, связанных с передачей медицинских изображений.

## Актуальность

Реальные изображения искажаются при сжатии и передаче по узкополосным каналам связи. Это затрудняет как их визуальный анализ, так и дальнейшую автоматическую обработку. Поэтому актуальной является задача получения наиболее оптимального соотношения между качеством и размером файла.

## Постановка задачи

Ведущее место в медико-диагностической информации занимают медицинские изображения, которые характеризуются большими объемами

мегабайт информации. Учитывая большие размеры данных, необходимых для хранения, и ограниченную пропускную способность каналов связи задача компактного представления медицинских изображений выходит на первый план. Одним из основных путей решения этой задачи является использование методов сжатия. При этом необходимо учитывать эффективность и быстродействие каждого из алгоритмов компрессии в отношении различных изображений (цветные, в оттенках серого, черно-белые).

Традиционно в медицинских информационных системах применяются методы компрессии без потерь, которые обеспечивают однозначное восстановление данных, но при этом характеризуются слишком маленьким коэффициентом сжатия (3÷8). Поэтому архивацию медицинских изображений для нужд телемедицины целесообразно проводить на основании методов компрессии с потерями, использование которых позволяет на порядок увеличить коэффициент сжатия (40÷80) [1], а небольшие потери данных во многих случаях допустимы и компенсируются ростом степени компрессии изображений. При этом такие методы должны быть надежными в смысле точности восстановления данных, т. е. обеспечивать сохранность диагностической информации.

Реализацию алгоритмов сжатия с потерями WAVELET и JPEG проведем на примере изображений ультразвуковой интроскопии (УЗИ).

Исходя из этого, в данной работе решаются следующие задачи:

1. Провести сжатие УЗИ методами WAVELET и JPEG с различной степенью компрессии.

2. Получить оптимальное соотношение между размером сжатого файла и качеством УЗИ на основе визуального анализа изображений;

3. Проанализировать влияние цветности УЗИ на качество архивации каждым алгоритмом.

## Теоретические основы сжатия изображений алгоритмами WAVELET и JPEG

Одними из наиболее известных и оптимальных алгоритмов сжатия с потерями являются JPEG и WAVELET. Подробное описание алгоритма WAVELET сжатия в виде строго упорядоченной последовательности преобразований приведено в [1–3]. В упрощенном варианте алгоритм WAVELET сжатия можно представить следующим образом (рис. 1) [2, 4].

После преобразования в цветовое пространство типа цветность/яркость изображение обрабатывается высокочастотными (ВЧ) и низкочастотными (НЧ) фильтрами по строкам и столбцам с последующим прореживанием. Фильтр представляет собой небольшое «окно». Значения яркости и цветности, попавших в него пикселей умножаются на заданный набор коэффициентов, а полученные значения суммируются, и «окно» сдвигается для расчета следую-

щего значения. Отсчеты НЧ и ВЧ составляющих получаются в соответствии с выражениями (1):

$$L(n) = \frac{[C(2^n) + C(2^{n+1})]}{2},$$

$$H(n) = \frac{[C(2^n) - C(2^{n+1})]}{2},$$
(1)

где:  $n=0,1,\dots,(N/2-1)$ ;  $C[2^n]$ ,  $C[2^{n+1}]$  – отсчеты входящего цифрового сигнала;  $L(n)$ ,  $H(n)$  – низкочастотные и высокочастотные коэффициенты преобразования фильтрами.

В результате фильтрации вместо одного изображения размером  $m \times n$  получим 4 изображения размером  $(m/2) \times (n/2)$ . НЧ фильтрация по горизонтали и вертикали дает самое высокоинформативное изображение, которое подвергают дальнейшей фильтрации, тогда как результат обработки ВЧ фильтром чаще всего отбрасывают. Изображения, полученные с применением ВЧ фильтра по строкам и НЧ по столбцам или наоборот, квантуются и после кодирования попадают в выходной поток. Результатом является массив числовых коэффициентов, который на следующем этапе квантуют, близкие к нулю коэффициенты отбрасывают, а затем массив кодируют.

Согласно [5] процесс сжатия изображений алгоритмом JPEG можно представить следующим образом (рис. 2):

1. Переводим изображение из цветового пространства RGB (Red-красный, Green-зеленый, Blue-синий) в цветовое пространство YUV (Y – яркостная составляющая, а U, V – компоненты, отвечающие за цвет (соответственно хроматический красный и хроматический синий)). За счет того, что человеческий глаз менее чувствителен к цвету, чем

к яркости, появляется возможность архивировать массивы для U и V компонент с большими потерями и, соответственно, большими коэффициентами сжатия.

Упрощенно перевод из цветового пространства RGB в цветовое пространство YUV можно представить с помощью матрицы перехода (2):

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \\ 0.1687 & -0.3313 & 0.5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Обратное преобразование – это умножение вектора YUV на обратную матрицу (3):

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} \quad (3)$$

2. Исходное изображение разбивается на матрицы  $8 \times 8$ . Из каждой матрицы формируются три рабочие матрицы дискретного косинусного преобразования (ДКП) – по 8 бит для каждой компоненты. В упрощенном виде это разбиение можно представить так (4):

$$Y[u,v] = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} C(i,u) \times C(j,v) \times y[i,j],$$
(4)

где  $n$  – размерность матрицы;  $C(i,u)$ ,  $C(j,v)$ ,  $y(i,j)$  – элементы матриц.

$$C(i,u) = A(u) \times \cos\left(\frac{(2i+1) \times u \times \pi}{2 \cdot n}\right)$$

$$A(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{for } u=0, \\ 1, & \text{for } u \neq 0. \end{cases} \quad (5)$$

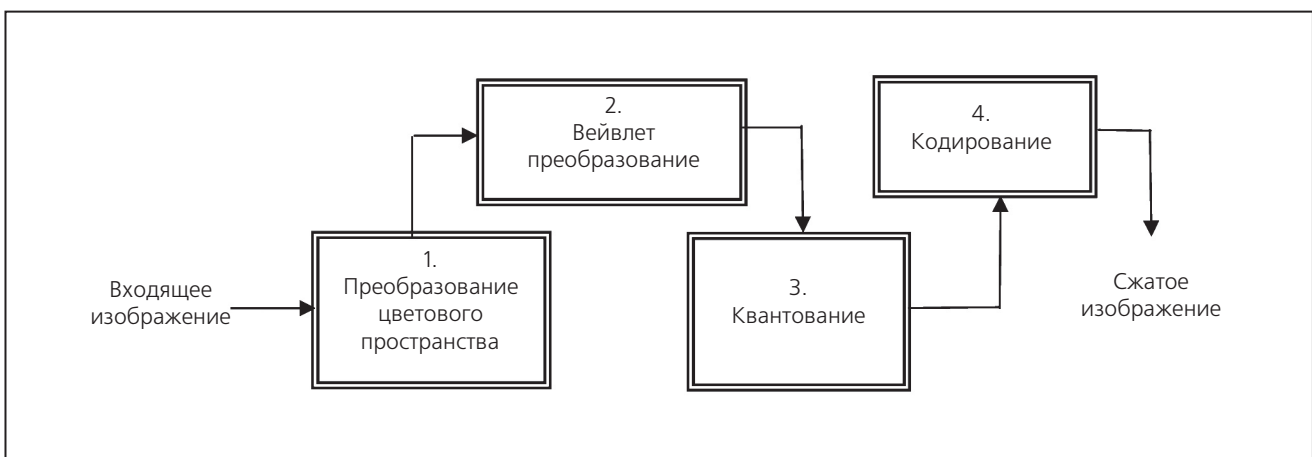


Рис. 1. Алгоритм сжатия изображений WAVELET.

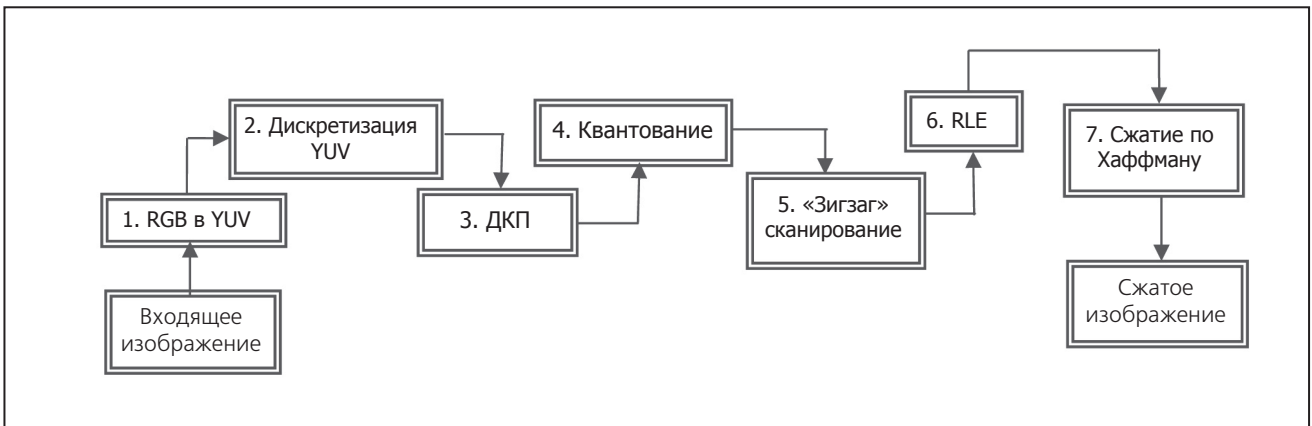


Рис. 2. Алгоритм сжатия изображений JPEG.

3. Применив ДКП к каждой рабочей матрице получим матрицу, в которой коэффициенты в левом верхнем углу соответствуют НЧ-составляющей изображения, а в правом нижнем – ВЧ. Понятие частоты следует из рассмотрения изображения как двумерного сигнала. Плавное изменение цвета соответствует НЧ-составляющей, а резкие скачки – ВЧ.

4. Квантование – это поэлементное деление рабочей матрицы на матрицу квантования (6). Для каждой компоненты ( $Y$ ,  $U$  и  $V$ ), в общем случае, задается своя матрица квантования (МК)  $q[u,v]$ . В стандарт сжатия JPEG уже включены рекомендованные МК, построенные опытным путем:

$$Yq[u,v] = \text{IntegerRound} \left( \frac{Y[u,v]}{q[u,v]} \right) \quad (6)$$

На этом шаге осуществляется управление степенью сжатия, и происходят самые большие потери. Понятно, что задавая МК с большими коэффициентами, мы получим больше нулей и, следовательно, большую степень сжатия.

5. Переводим матрицу  $8 \times 8$  в 64-элементный вектор при помощи «зигзаг»-сканирования, т.е. берем элементы матрицы с индексами  $(0,0)$ ,  $(0,1)$ ,  $(1,0)$ ,  $(2,0)$ ...и т.д. Таким образом, в начале вектора мы получаем коэффициенты матрицы, соответствующие НЧ, а в конце – ВЧ.

6. Свертываем вектор алгоритмом группового кодирования RLE (Run Length Encoding).

7. Свертываем получившиеся пары, используя метод кодирования Хаффмана.

## Практическая реализация алгоритма сжатия WAVELET

Проведем сравнение эффективности применения алгоритмов WAVELET и JPEG на примере УЗИ. Реализация алгоритмов сжатия позволяет получить изображения с различным качеством (высокое, среднее и низкое) и проанализировать полученные данные. Обработка выполнена пакетом Matlab R2009b.

Исходное и сжатые изображения при разном количестве итераций ( $p$ ) алгоритма WAVELET представлены на рис. 3:

Визуальный анализ изображения при  $p=14$  позволяет сделать вывод о том, что его качество максимально близко к качеству оригинала. Значение параметра  $p=12$  позволяет говорить, что качество полученного изображения вполне приемлемо для дальнейшей врачебной обработки и анализа. При величине параметра  $p=10$  происходит максимальное сжатие изображения, однако его качество является недопустимо низким для медицинской диагностики.

Таким образом, в результате получаем:

- при  $p=10$  – максимальное сжатие, наихудшее качество;

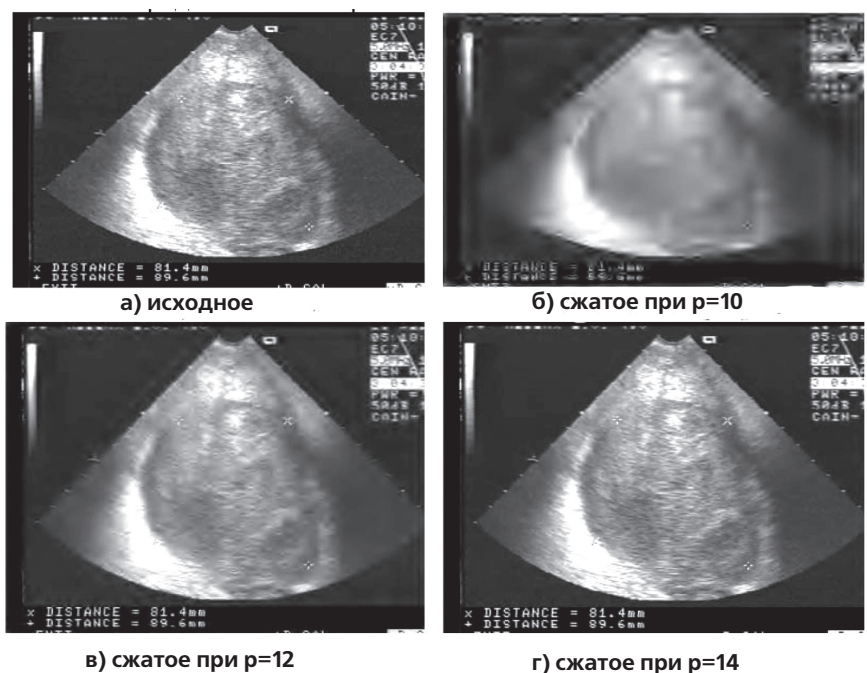


Рис. 3. Сжатие УЗИ алгоритмом WAVELET с различным качеством.

- при  $p=12$  – оптимальное значение степени сжатия и качества;
- при  $p=14$  – минимальное сжатие, наилучшее качество.

Поэтому анализ рис. 3 позволяет сделать вывод о нецелесообразности дальнейшего уменьшения значения  $p$ , в связи с появлением артефактов и проявлением негативных свойств алгоритма сжатия WAVELET, характерных для больших степеней сжатия.

Зависимость размера сжатого файла от количества итераций алгоритма для УЗИ представлена на рис. 4.

На основе анализа рис.4 можно говорить о том, что чем больше число итераций алгоритма, тем выше качество получаемого изображения, но, соответственно, тем меньше степень сжатия УЗИ и больше размер самого файла.

Основными недостатками WAVELET – сжатия изображений являются:

- необходимым условием применения алгоритма является кратность сторон изображения степени 2. В противном случае стороны изображения должны быть дополнены блоками белого цвета, что, в свою очередь, увеличит его размер и время сжатия;
- при достаточно больших степенях сжатия появляется размытость вблизи резких границ переходов цветов, что, несомненно, затрудняет возможность правильности медицинской диагностики.

## Практическая реализация алгоритма сжатия JPEG

Показателем степени сжатия изображений является процент сжатия ( $k$ ):

$$k = \frac{m}{n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где:  $m$  – размер сжатого изображения,  $n$  – размер исходного изображений.

При реализации JPEG сжатия сопоставление качества полученных УЗИ почек проводим с учетом того, чтобы процент сжатия файла ( $k$ ) был равен проценту сжатия для аналогичного случая алгоритма WAVELET (см. табл. 1). УЗИ, сжатые алгоритмом JPEG, приведены на рис. 5.

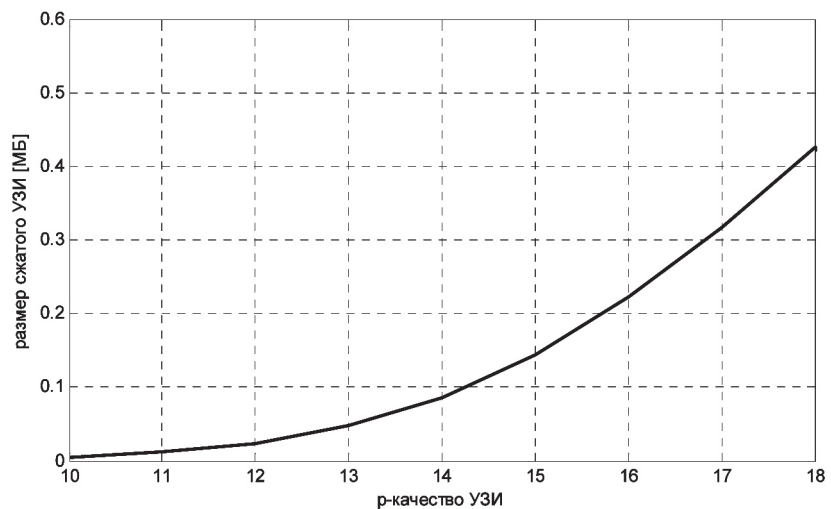


Рис. 4. Зависимость размера файла УЗИ от количества итераций при WAVELET-сжатии.

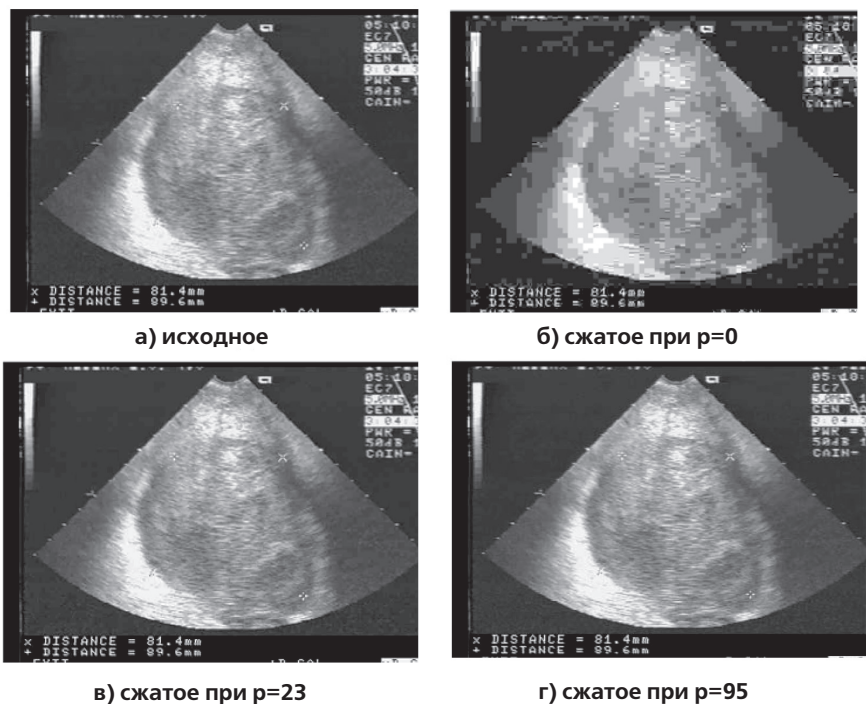


Рис. 5. Сжатие УЗИ алгоритмом JPEG с различным качеством.

Параметр  $p$  принимает значения от 0 до 100. При  $p=0$  видим наиболее высокую степень сжатия изображения при наихудшем качестве. При  $p=23$  достигается оптимальное соотношение размер – качество. Величина процента сжатия файла при  $p=95$  наиболее соответствует оригиналу.

Таким образом, получаем:

- при  $p=0$  – максимальное сжатие, наихудшее качество;

- при  $p=23$  – оптимальное значение степени сжатия и качества;
- при  $p=95$  – минимальное сжатие, наилучшее качество.

Экспериментальным путем установлено, что оптимальный параметр сжатия для алгоритма JPEG  $p=75$ . Зависимость размера файла от качества изображения для УЗИ приведено на рис. 6.

График на рис. 6 наглядно подтверждает большие изменения размера

файла УЗИ в пределах [0; 100] для JPEG компрессии и свидетельствует о том, что при  $p=100$  получаем самое высокое качество изображения.

Недостатками JPEG-сжатия изображений являются:

- эффект Гиббса – ореол вокруг резких границ в изображении;
- блочность изображения при больших степенях сжатия.

## Сравнение алгоритмов сжатия

Полученные результаты сжатия алгоритмами WAVELET и JPEG сведем в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что WAVELET-сжатие имеет намного большее время кодирования-декодирования одного изображения, что, несомненно, является его недостатком.

Для наглядного сравнения алгоритмов WAVELET и JPEG составим графики зависимости размера файла, представленные на рис. 5 и рис. 6. Результат представлен на рис. 7.

Исходя из данных рис. 7 можно сделать вывод о том, что при равном качестве, УЗИ изображения, сжатые алгоритмом WAVELET имеют гораздо больший размер, чем сжатые методом JPEG, что еще раз подтверждает неэффективность WAVELET-сжатия. Значения  $p \leq 3$  соответствуют наихудшему качеству УЗИ, поэтому их исследование нецелесообразно.

## Анализ влияния цветности на степень сжатия

Учитывая, что исследуемое УЗИ является полноцветным 24-х битным изображением, целесообразно провести анализ влияния цветности изображения на качество сжатия для каждого алгоритма. Для этого введем параметр ( $r$ ), показывающий во сколько раз размер

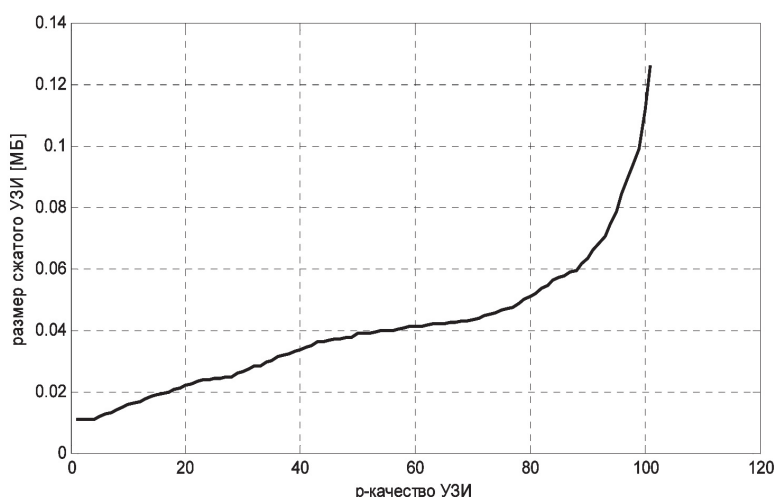


Рис. 6 Зависимость размера сжатого файла от качества изображения ( $p$ ) при JPEG-сжатии.

Табл. 1. Сравнительные характеристики алгоритмов WAVELET и JPEG.

Количество итераций	WAVELET-сжатие			JPEG-сжатие		
	Т код, с	Т декод, с	Процент сжатия к, %	Т код, с	Т декод, с	Процент сжатия к, %
$p=10$	5,6	8,6	0,28			
$p=12$	6,1	10	1,51			
$p=14$	7,2	14,6	5,43			
$p=0$				0,04	2,3	0,68
$p=23$				0,05	2,9	1,52
$p=95$				0,06	3,4	5,36

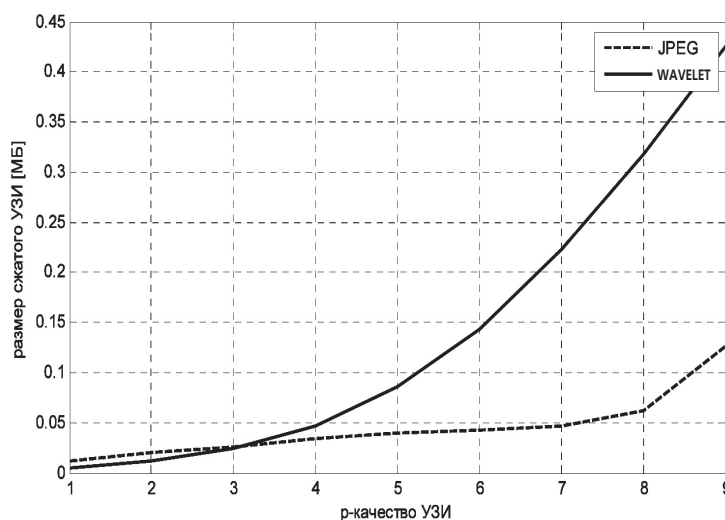


Рис. 7. Зависимости размера сжатого файла УЗИ от качества изображения ( $p$ ) при WAVELET и JPEG – сжатии.

файла с цветным изображением больше аналогичного по качеству в оттенках серого:

$$r = \frac{u}{v}, \quad (8)$$

где  $u$  – размер полноцветного изображения,  $v$  – аналогичное по качеству в оттенках серого.

Полученные таким образом параметрические зависимости имеют следующий вид: для WAVELET-сжатия (рис. 8) и для JPEG-сжатия (рис. 9):

Из рис. 8 видно, что для максимальной степени сжатия ( $r=0$ ) алгоритмом WAVELET цветность изображения не имеет значения, при  $r=20$  достигается наилучшее качество цветных УЗИ изображений, а при  $r \geq 22$  дальнейшее сжатие цветных изображений становится невозможным.

Исходя из графика на рис. 9, можно сделать вывод о том, что алгоритм JPEG всегда сильнее сжимает именно цветные УЗИ, что еще раз подтверждает его большую эффективность для данного случая.

## Выводы

Для анализа качества сжатия УЗИ были применены алгоритмы архивации с потерями WAVELET и JPEG. Несмотря на ряд недостатков алгоритма JPEG его преимущества перед WAVELET сжатием в данном случае очевидны:

- время кодирования-декодирования для JPEG компрессии ничтожно мало и в отличие от алгоритма WAVELET составляет доли секунды;
- при равном качестве УЗИ, изображения сжатые алгоритмом WAVELET имеют гораздо больший размер, чем сжатые методом JPEG;
- при одинаковых размерах кодированных файлов изображения сжатые алгоритмом JPEG являются гораздо более четкими и содержат меньше визуальных искажений.

Проведен анализ влияния цветности изображения на качество сжатия обоими методами. Для этого каждое УЗИ изображение было преобразовано из полноцветного 24-битового формата в формат «оттенки серого». На основании полученных графиков зависимостей можно говорить о том, что:

- при максимальной WAVELET-компрессии цветность изображения не имеет значения – и цветные УЗИ, и УЗИ в оттенках серого сжимаются с одинаковым качеством. Однако при увеличении количества итераций алгоритма свыше

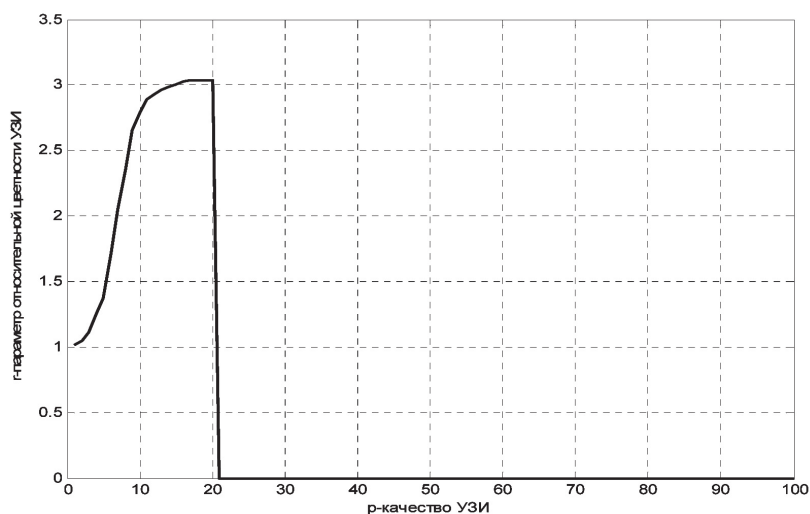


Рис. 8. Влияние цветности УЗИ на качество WAVELET-сжатия.

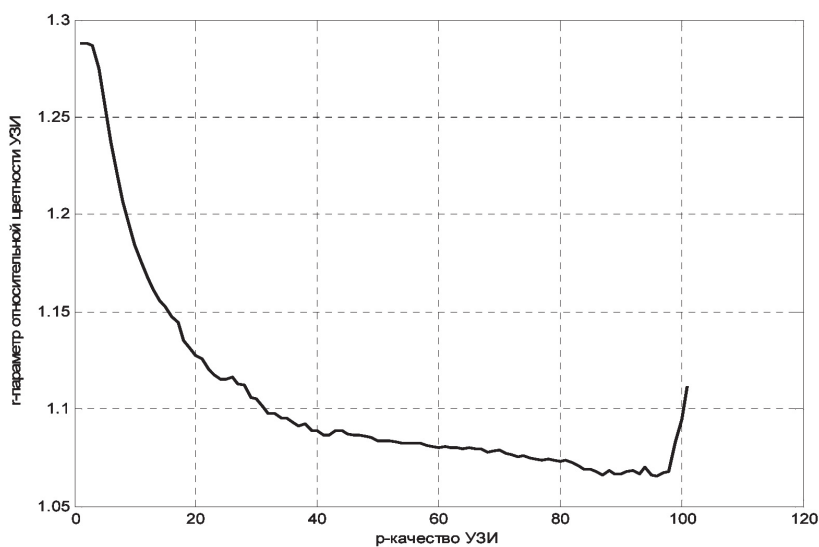


Рис. 9. Влияние цветности УЗИ на качество JPEG-сжатия.

22 дальнейшее сжатие полноцветных УЗИ становится невозможным;

- алгоритм JPEG лучше сжимает именно цветные УЗИ, что еще раз доказывает его максимальную эффективность для сжатия полноцветных изображений.

Более точно степени сжатия, необходимые для достоверной медицинской диагностики, определяются на основании количественных показателей качества УЗИ, известных из литературы [6–11], что и будет выполнено в дальнейшем.

### Литература

1. Кучинський Т. Б. Хвилькові методи стиску зображень в системах ме-

дичної діагностики: дис. канд. техн. наук: 05.13.06/ Кучинський Тарас Борисович. – Львів, 2002. – 147 с.

2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений/ Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии/ Стефен Уэлстид. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.
4. Электронный ресурс. Цифровые системы видеонаблюдения: передача информации и алгоритмы сжатия <http://www.shocker.ru/articles/18.html>
5. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео/ Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

6. Орел В. Э. Сравнительный компьютерный нелинейный анализ цифровых изображений ультразвуковых аппаратов / В. Э. Орел, Н. А. Николов, А. В. Романов // Электроника и связь. – 2009. – № 1–2 – С. 156–160.
7. Orel V. E. Nonlinear Analysis of Digital Images and Doppler Measurements for Trophoblastic Tumor / V. E. Orel, T. Kozarenko, K. Galachin // Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Science. – 2007. – P. 309–331.
8. Орел В. Э. Компьютерный анализ гетерогенности цифровых медицинских изображений на органном и молекулярном уровне / В. Э. Орел, Н. А. Николов, А. В. Романов // Электроника и связь. – 2007. – С. 60–65.
9. Электронный ресурс. Спекл-шум и повышение качества ультразвуковых изображений <http://www.medcom.ru/pages-view-81.html>
10. Приоров А. Л. Улучшение качества ультразвуковых медицинских изображений / А. Л. Приоров, В. В. Хрящев, М. В. Сладков // Медицинская техника. – 2008. – С. 11–13.
11. Разработка и испытание нового метода улучшения качества изображений в ультразвуковой медицинской диагностике / Н. С. Кульберг, Т. В. Яковлева, Ю. Р. Камалов и др. // Акустический журнал. – 2009. – №4. – С. 526–535.

an optimal compression method are being solved. The questions of efficiency application the compression algorithms were taken up in view of medical diagnostics requirements. WAVELET and JPEG algorithms practical realization as an example of ultrasonic images compression with various quality degrees is resulted. Obtained data allow defining the most suitable compression degree and visually estimating an opportunity of images use in the medical purposes. The analysis of the results was carried out. Following this analysis we can judge about inefficiency of ultrasonic images WAVELET compression. The reason is too big time of coding–decoding images and significant presence of handicaps and visual distortions in comparison with the corresponding size of JPEG compression ultrasonic images. Influence of image's chromaticity on compression quality is considered by each algorithm. Using the technologies of images compression with losses it is emphasized that one of the major conditions is safety diagnostic data on potentially informative image's sites.

**Key words:** ultrasonic images, methods of images compression, algorithm JPEG, algorithm WAVELET, visual distortions, ultrasonic images quality parameters.

### Дослідження впливу ступеня стиснення та кольоровості на якість медичних ультразвукових зображень

Г. Ю. Гладирєва<sup>1</sup>, М. М. Будник<sup>2</sup>  
О. С. Коваленко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАНУ МОНУ, Київ

<sup>2</sup> Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ

#### Резюме

У статті викладено теоретичні аспекти математичних алгоритмів компресії медичних зображень, обґрунтована доцільність застосування методів стиснення з втратами. Вирішуються задачі знаходження найбільш оптимального методу стиснення.

Висвітлено питання ефективності застосування алгоритмів стиснення з урахуванням вимог медичної діагностики. Наведена практична реалізація алгоритмів WAVELET і JPEG на прикладі стиску ультразвукових зображень з різними ступенями якості. Отримані дані дозволяють визначити найбільш прийнятну ступінь стиснення і візуально оцінити можливість використання зображень в медичних цілях. Проведено аналіз отриманих результатів, на підставі якого можна судити про неефективність WAVELET стиску ультразвукових зображень. Причиною є дуже великий час кодування-декодування зображень та наявність значної кількості перешкод та візуальних спотворень в порівнянні з відповідним розміром ультразвукового зображення при JPEG компресії. Розглянуто вплив кольоровості зображення на якість стиснення кожним алгоритмом. При використанні технологій стиснення зображень з втратами зроблено акцент на тому, що однією з найважливіших умов є збереження діагностичних даних на потенційно інформативних ділянках зображення.

**Ключові слова:** ультразвукові зображення, методи стиснення зображень, алгоритм JPEG, алгоритм WAVELET, візуальні спотворення, показники якості ультразвукових зображень.

### Research of influence compression degree and chromaticity on medical ultrasonic images quality

A. Gladyrjeva<sup>1</sup>, N. Budnyk<sup>2</sup>, A. Kovalenko<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>International Research and Training Center for Informational and Technologies and Systems, Kiev, Ukraine

<sup>2</sup> The V. M. Glushkov Institute of Cybernetics attached to National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

#### Abstract

The theoretical aspects for mathematical algorithms of medical images compression are stated in this article; the expediency of application compression methods with losses is proved. The tasks of finding

#### Переписка:

д.м.н., професор А. С. Коваленко

А. Ю. Гладирєва

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАНУ, МОНУ (МНУЦИТИС)

просп. Академика Глушкова 40

Киев, 03680, Украина

тел. +380 (44) 503 95 42

эл. почта: anjuta\_g@bk.ru

anjuta.g@gmail.com