

Методы и средства обработки сигналов и изображений

УДК 007:57+007:573.6+615.47

А.Ю. Гладырева, Н.Н. Будник, канд. техн. наук, А.С. Коваленко, д-р мед. наук

Исследование показателей качества рентгеновских изображений

Рассматривается подробная характеристика показателей качества рентгеновских изображений. Приведена практическая реализация математических алгоритмов сжатия рентгеновских изображений с различными степенями качества. Освещены вопросы эффективности применения алгоритмов сжатия с учетом требований медицинской диагностики.

The detailed characteristic of x-ray images quality parameters is considered. Practical realization of mathematical algorithms the x-ray images compression with various quality degrees is resulted. The questions of efficiency application the compression algorithms in view of medical diagnostics requirements are taken up.

Введение

С развитием информационных и компьютерных технологий в медицине появились новые возможности для повышения качества медицинских изображений.

В связи с тем, что диагностика на основе визуального восприятия медицинских изображений всегда имела широкое распространение во врачебной практике, в последнее время на первый план выходит задача анализа качества полученных изображений. Особенно это касается вопросов, связанных с передачей медицинских изображений в телемедицинских системах.

Поэтому поиск оптимального соотношения между размером сжатого файла медицинского изображения и его качеством является одной из важнейших задач современной телемедицины.

Теоретические основы сжатия изображений алгоритмами WAVELET и JPEG

Поскольку и цветные, и чёрно-белые растровые медицинские изображения обычно требуют большого объёма памяти для своего хранения, то большинство форматов файлов включают в себя технологии сжатия с потерями либо без потерь информации. Причина использования методов сжатия с потерями заключается в том, что они обеспечивают большую степень сжатия, чем методы сжатия без потерь. Во многих случаях не-

большие потери данных допустимы и компенсируются ростом степени сжатия [1].

Среди наиболее известных и оптимальных алгоритмов сжатия с потерями для медицинских изображений являются JPEG и WAVELET.

Метод сжатия Wavelet преобразует изображение согласно алгоритму (рис. 1) [2].

Подробное описание алгоритма WAVELET сжатия представляет собой строго упорядоченную последовательность преобразований и детально описано в [2-4].

В упрощённом варианте алгоритм WAVELET сжатия можно представить следующим образом [5].

После преобразования в цветовое пространство типа цветности/ 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 следующего значения.

Отсчёты низкочастотной и высокочастотной составляющей получаются в соответствии со следующими выражениями (1):

$$\begin{aligned} L(n) &= \frac{[C(2 \cdot n) + C(2 \cdot n + 1)]}{2}, \\ H(n) &= \frac{[C(2 \cdot n) - C(2 \cdot n + 1)]}{2}, \end{aligned} \quad (1)$$

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

В результате фильтрации вместо одного изображения размером $m \times n$ вейвлет – преобразование даёт 4 изображения размером $(m/2) \times (n/2)$. НЧ фильтрация по горизонтали и вертикали даёт 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.

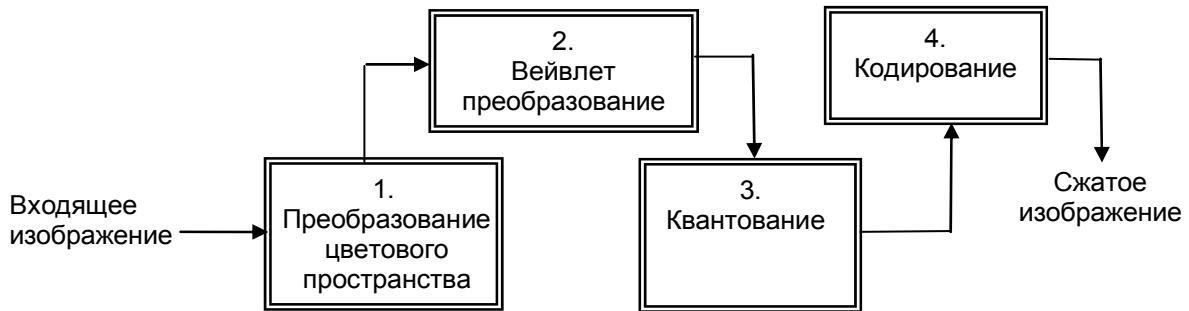


Рис. 1. Сжатие изображений алгоритмом WAVELET

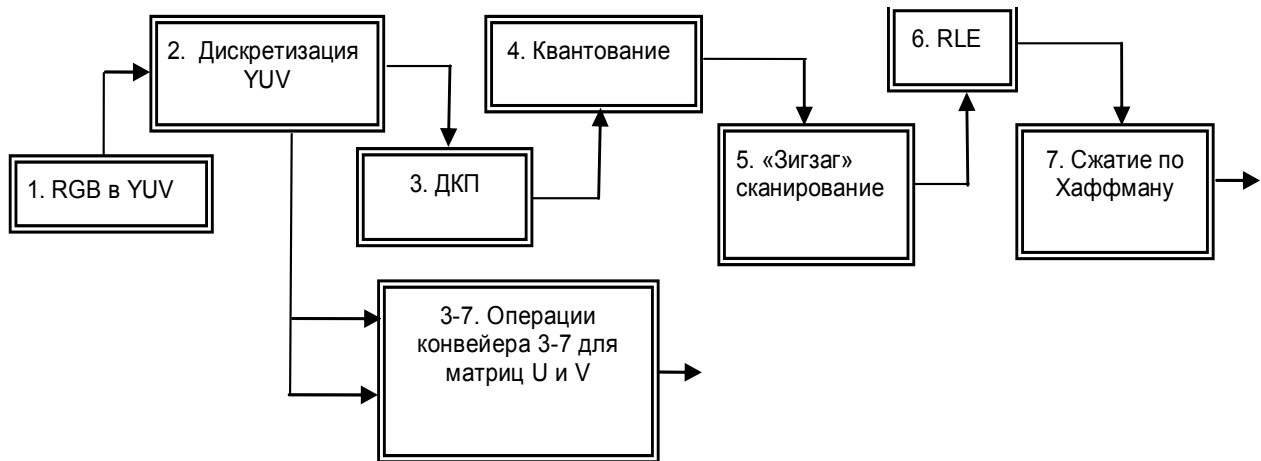


Рис. 2. Сжатие изображений алгоритмом JPEG

Результатом является массив числовых коэффициентов, который на следующем этапе квантуют, близкие к нулю коэффициенты отбрасывают, а затем массив кодируют.

В соответствии с [6] процесс сжатия изображений алгоритмом JPEG можно представить следующим образом (рис. 2):

1. Переводим изображение из цветового пространства RGB (Red-красный, Green-зелёный, 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):

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,5 & -0,418 & -0,081 \\ 0,1687 & -0,3313 & 0,5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Обратное преобразование осуществляется умножением вектора YUV на обратную матрицу (3):

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1,402 \\ 1 & -0,3441 & -0,7141 \\ 1 & 1,772 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2. Исходное изображение разбивается на матрицы 8x8. Из каждой матрицы формируются три рабочие матрицы дискретного косинусного преобразования (ДКП) — по 8 бит для каждой компоненты.

3. В упрощенном виде это разбиение можно представить так (4):

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

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

$$C(i, u) = A(u) \cdot \cos\left(\frac{(2 \cdot i + 1) \cdot u \cdot \pi}{2 \cdot n}\right) \quad (5)$$

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

Применяем ДКП к каждой рабочей матрице. При этом мы получаем матрицу, в которой коэффициенты в левом верхнем углу соответствуют низкочастотной составляющей изображения, а в правом нижнем — высокочастотной. Понятие

частоты следует из рассмотрения изображения как двумерного сигнала. Плавное изменение цвета соответствует низкочастотной составляющей, а резкие скачки – высокочастотной.

4. Производим квантование. Это деление рабочей матрицы на матрицу квантования поэлементно (6). Для каждой компоненты (Y, U и V), в общем случае, задается своя матрица квантования (МК) $q[u,v]$. В стандарт 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 8x8 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 низким частотам, а в конце — высоким.

6. Свертываем вектор с помощью алгоритма группового кодирования RLE (Run Length Encoding).

7.Свертываем получившиеся пары, используя метод кодирования Хаффмана.

Практическая реализация алгоритмов сжатия WAVELET и JPEG

На практике можно провести сравнение эффективности применения алгоритмов Wavelet и JPEG на примере рентгеновского изображения (РИ) лёгких. Исходное изображение представлено на рис. 3:

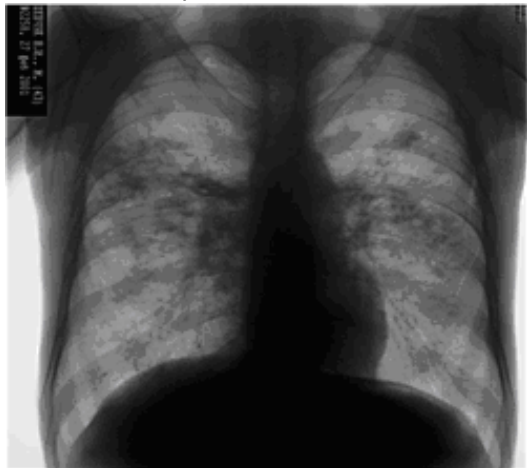
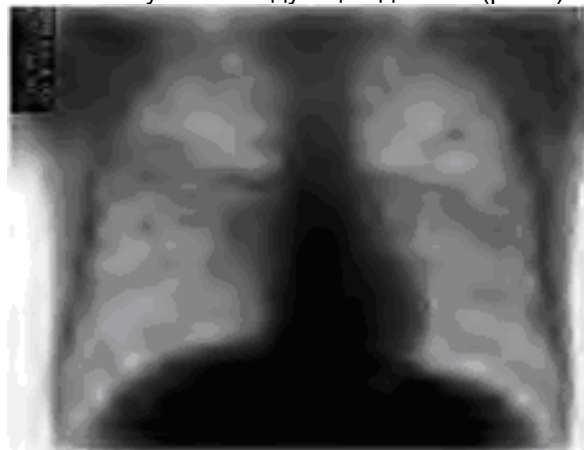


Рис. 3. Рентгенография лёгких

Реализация алгоритмов на примере рентгеновского снимка позволяет получить изображения с различным качеством (высокое, среднее и низкое) и проанализировать полученные данные. Представление результатов проводится с использованием Matlab R2009b.

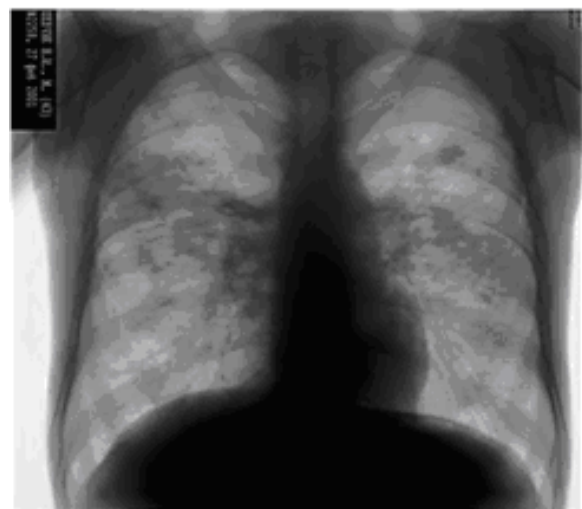
Изменяя количество итераций (p) алгоритма Wavelet получаем следующие данные (рис.4):



(a) p=10



(б) p=12



(в) p=14

Рис. 4. Сжатие рентгенограммы лёгких алгоритмом Wavelet с различным качеством

Анализ полученных результатов позволяет судить о нецелесообразности дальнейшего уменьшения значения p , в связи с появлением артефактов и проявлением негативных свойств алгоритма сжатия Wavelet, характерных для больших степеней сжатия (размытость вблизи резких границ переходов цветов, что, несомненно, затрудняет возможность правильности медицинской диагностики).

При величине параметра $p=10$ происходит самое большое сжатие изображения, однако его качество является недопустимым для дальнейшей диагностики.

Промежуточное значение параметра $p=12$ даёт возможность говорить что качество полученного изображения вполне приемлемо.

Значение $p=14$ позволяет сделать вывод о том, что качество полученного изображения максимально приближено к оригиналу.

Получаем:

- при $p=10$ – максимальное сжатие, наихудшее качество;
- при $p=12$ – среднее значение степени сжатия и качества;
- при $p=14$ – минимальное сжатие, наилучшее качество.

Построение зависимости количества итераций алгоритма от размера сжатого файла рентгенограммы даёт следующие результаты (рис. 5):

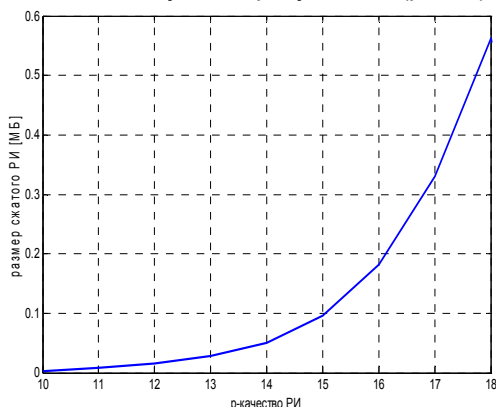


Рис. 5. Зависимость качества изображения от размера файла для рентгенограммы лёгких при Wavelet-сжатии

Проанализировав полученную зависимость можно говорить о том, что чем больше число итераций алгоритма, тем выше качество получаемого изображения, но, соответственно, тем меньше степень сжатия изображения и больше размер самого файла рентгеновского изображения.

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 [7].

Одним из важнейших показателей качества медицинских изображений является процент сжатия, обозначим его (k):

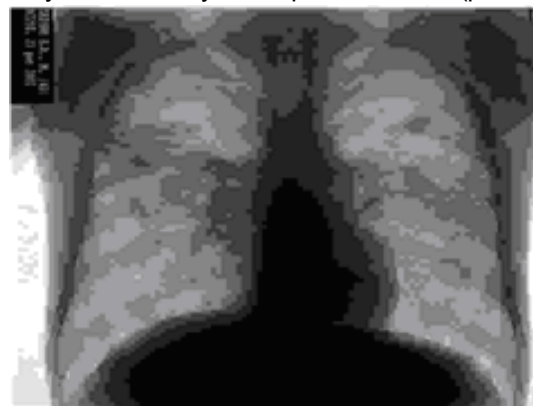
$$k = \frac{m}{n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где: m – размер сжатого изображения [МБ].

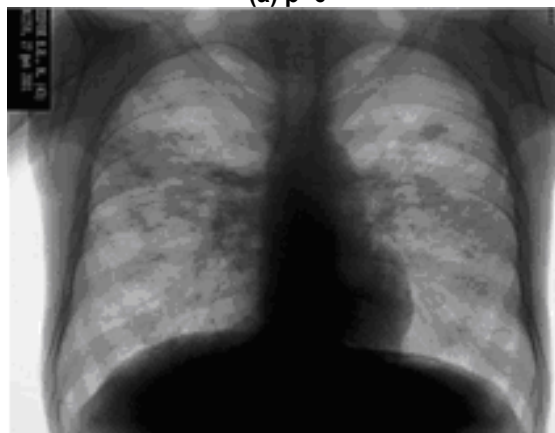
n – размер исходного изображений [МБ].

При реализации JPEG сжатия сопоставление качества полученных изображений рентгенограммы лёгких проводим с учётом того, чтобы процент сжатия файла при реализации алгоритма JPEG был сопоставим с аналогичным для алгоритма Wavelet.

Учитывая вышесказанное, получаем рентгенограмму лёгких сжатую алгоритмом JPEG (рис. 6):



(a) $p=0$



(б) $p=57$

Рис. 6. Сжатие рентгенограммы лёгких алгоритмом JPEG с различным качеством

В данном случае мы получили только два изображения в связи с тем, что процент сжатия изображения на рис. 6 (a) приблизительно соответствует сжатию на рис. 4 (a), а изображение

на рис. 6 (б) приблизительно соответствует сжатию на рис. 4 (в), а значит для рис. 4 (б) соответствия нет (см. табл. 1).

Принимая $p=0$ показываем наиболее высокую степень сжатия изображения при наихудшем качестве.

Величина процента сжатия файла $p=57$ наиболее приближена к аналогичному случаю при $p=14$ для Wavelet сжатия (см. табл. 1).

Параметр p принимает значения от 0 до 100. Экспериментальным путём установлено, что оптимальный параметр сжатия для алгоритма JPEG $p=75$ [8].

Получаем:

- при $p=0$ – максимальное сжатие, наихудшее качество;
- при $p=57$ – минимальное сжатие, наилучшее качество.

Построение зависимости качества изображения от размера файла рентгенограммы даёт следующие результаты (рис. 7):

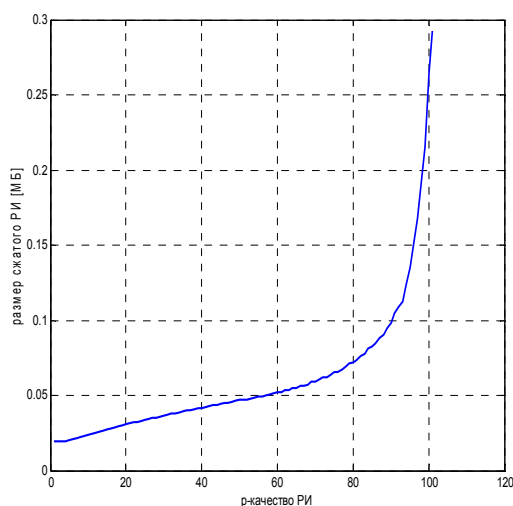


Рис. 7. Зависимость качества изображения от размера файла для рентгенограммы лёгких при JPEG – сжатии

Построение данного графика является наглядным подтверждением изменения качества РИ в пределах $[0; 100]$ и свидетельствует о том, что при $p=100$ получаем самое высокое качество изображения.

Таблица 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, %
$p=10$	12	18,2	0,12			
$p=12$	12,1	19,4	0,51			
$p=14$	12,9	22,1	1,61			
$p=0$				0,06	2,5	0,62
соответствия нет				—	—	соответствия нет
$p=57$				0,07	3,5	1,62

Недостатками JPEG – сжатия изображений являются:

- Эффект Гиббса – ореол вокруг резких горизонтальных и вертикальных границ в изображении;
- Блочность изображения при больших степенях сжатия [7].

Полученные данные об алгоритмах Wavelet и JPEG сведём в сравнительную таблицу (табл. 1).

На основании данных таблицы можно судить о большом времени кодирования – декодирования изображений при Wavelet – сжатии.

Выводы

Качество РИ определяет точность постановки диагноза. Само РИ характеризуется совокупностью показателей: яркостью, контрастностью, размытостью, однородностью, разрешением (пространственным и динамическим), количественными показателями (расстояния, углы, размеры органов или патологических образований, относительная плотность в каждой точке снимка или средняя плотность в произвольном фрагменте), наличием чётких контуров изображения органа на снимке, наличием помех и искажений, информативностью изображения.

Для оценки качества сжатия РИ были применены алгоритмы архивации с потерями Wavelet и JPEG. Несмотря на ряд недостатков алгоритма JPEG (в некоторых случаях возникает эффект Гиббса – ореол вокруг резких горизонтальных и вертикальных границ в изображении, блочность изображения при больших степенях сжатия) его преимущество перед Wavelet сжатием в данном случае очевидно:

- время кодирования-декодирования для сжатия JPEG ничтожно мало и в отличие от алгоритма Wavelet составляет доли секунды;
- при равных размерах кодированных файлов изображения сжатые алгоритмом JPEG являются гораздо более чёткими и содержат меньше визуальных искажений.

При использовании технологий сжатия изображений одним из важнейших условий анализа рентгеновских изображений является детализация выявленных изменений и особый акцент на потенциально информативных участках рентгенограммы.

Литература

1. *Миано Дж.* Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии/ Дж. Миано. – М.: Триумф, 2003. – 336 с.
2. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений/ Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. *Кучинський Т.Б.* Хвилькові методи стиску зображень в системах медичної діагностики: дис. канд. техн. наук: 05.13. 06/ Кучинський Тарас Борисович. – Львів, 2002. – 147 с.
4. *Уэлстид С.* Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии/ Стефен Уэлстид. – М.: Триумф, 2003. – 320 с.
5. *Цифровые системы видеонаблюдения: передача информации и алгоритмы сжатия* <http://www.shocker.ru/articles/18.html>
6. *Методы сжатия данных.* Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. – М.: ДИАЛОГ– МИФИ, 2002. – 384 с.
7. *Гладырева А. Ю.* Сравнительная оценка методов сжатия медицинских изображений / А.Ю. Гладырева // Электроника и связь. – 2008. – С. 22 – 26.
8. *Гладирева Г. Ю.* Пошук параметрів методів JPEG та WAVELET, які забезпечують максимальне стиснення медичних зображень// Г.Ю. Гладирева, О.С. Коваленко, М.М. Будник // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті: зб. тез II міжнар. наук. - техн. конф., 3-5 грудня 2009, Суми. – 2009. – С. 12 – 14.