

УДК 004.932.2:616-073.75

doi:10.20998/2413-4295.2016.25.05

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАММОГРАММ

Д. А. БОЙКО\*

Кафедра вычислительной техники и программирования, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

\*email: boo.bda88@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** Предложен и обоснован новый метод многокритериальной оценки качества цифрового изображения молочной железы. Разработаны шкалы интегральных оценок качества маммограммы, в основу которых кроме субъективных критериев положены объективные характеристики маммографического изображения. С использованием разработанных шкал врачи-рентгенологи оценивают качество конкретного маммографического снимка. Для сравнения усредненных оценок качества маммографического изображения, полученного в результате обработки различными методами, предлагается использовать различные критерии оптимальности в условиях неопределенности.

**Ключевые слова:** молочная железа, маммограмма, метод, цифровая обработка изображений, экспертные оценки

## IMAGING QUALITY ASSESSMENT OF MAMMOGRAMS

D. A. BOYKO

Department of Computer technology and Programming, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** The aim. The aim of the work is imaging quality assessment of pathological structures on the low-contrast gray-scale images of the mammary gland by developing a new method for multicriteria estimation of the mammograms quality.

Solving methods. A method for multicriteria estimation of the visualization mammograms quality was developed. It is based on expert assessments and taking into account both subjective and objective characteristics of the mammographic images.

Different criteria for optimality in the conditions of uncertainty is proposed to use for the comparison of average expert estimates of the mammographic image quality resulting from the different processing methods.

Results. The proposed method for multicriteria evaluation of the visualization mammograms quality has been tested on real digital mammography images, which were obtained with the help of mammography complex Syma.

The results of a comparative study of mammograms before and using various digital processing techniques have shown that the most optimal for radiologist perception and correct diagnosis is mammography image, which is processed by a method for enhancing imaging quality mammograms IMRI-MAM.

Conclusions Thus, the application of the method for multicriteria evaluation of the visualization mammograms quality with the help of integrated scales allows to quickly and accurately carry out a visual assessment of the mammographic image quality. The proposed method will get rid of the time-consuming and inaccurate assessment of the modern imaging techniques only by subjective assessment.

**Keywords:** mammary gland, mammogram, method, digital image processing, expert assessments

### Введение

На сегодняшний день во многих развитых странах рак молочной железы (МЖ) является чрезвычайно частой онкологической патологией [1]. Выявление рака МЖ на ранних стадиях развития патологического процесса во многом определяет эффективность лечения и прогноз в целом [2]. Из существующих методов диагностики МЖ маммография является наиболее безопасным и сравнительно недорогим методом. Маммография обладает достаточной информативностью, особенно на ранних этапах нахождения патологии МЖ.

Для обеспечения высокой результативности маммографического обследования больных обязательным является получение высокоинформативной маммограммы в сочетании с низким уровнем облучения пациента. Маммограммы высокого качества являются ключевым фактором

успеха скрининговой программы для обнаружения рака молочной железы.

Для систем цифровой маммографии необходима специальная оценка качества маммографических изображений, которые необходимы для выявления отклонений в состоянии молочных желез. К оценке качества изображений возможны два подхода: объективная оценка с помощью использования математических методов и субъективная оценка на основе экспертных оценок.

К субъективной оценке относятся критерии визуального восприятия изображения, оцениваемые в процессе экспертизы некоторой группой экспертов (врачей-рентгенологов).

Наибольшее распространение получил метод оценок, при котором эксперт оценивает качество рентгеновского изображения в баллах по определенной шкале, считая, что идеальное изображение имеет максимальный балл. Основные шкалы оценок при

© Д. А. БОЙКО, 2016

использовании метода сравнения приведены в табл. 1 [3]. Результаты экспертных оценок обычно выражают с помощью среднего балла [4].

Таблица 1 – Основные шкалы субъективных оценок качества изображения

Шкала качества	Шкала ухудшения
5 – отлично	5 – незаметно
4 – хорошо	4 – заметно, но не мешает
3 – удовлетворительно	3 – заметно, немного мешает
2 – плохо	2 – мешает
1 – очень плохо	1 – сильно мешает

Однако субъективная оценка – это довольно трудоемкий процесс, который существенно зависит от многих факторов (условий наблюдения, остроты зрения и квалификации врача и т.д.), требует опытных экспертов и не является объективным и универсальным. Кроме того, одной из трудностей, связанных с оценками в баллах, является возможная нелинейность шкалы.

Объективные критерии оценки качества изображения используются для уменьшения влияния субъективного фактора, позволяющие объективно оценить качество и эффективность цифровой обработки, различие или идентичность анализируемых изображений. Объективные оценки могут быть абсолютными или относительными. При использовании относительных оценок качество рассматривается как мера близости двух изображений: реального и эталонного. Сравнения изображений может производиться по критерию среднеквадратической ошибки (СКО), коэффициенту корреляции или отношению Штреля. Существуют также другие сравнительные методы оценки качества изображений, например, норма Минковского [5], мера структурного подобия, предложенная Вангом [6], основанные на приведенных выше критериях или их комбинациях. Отсутствие эталонного изображения молочной железы исключает возможность применения данной группы методов.

Для задачи определения качества рентгеновских изображений по результатам одной экспозиции возможно применение методов абсолютных оценок. При этом абсолютные оценки можно использовать для сравнения изображений, получив их отдельно друг от друга.

Известны следующие абсолютные методы оценки качества изображений [7].

*Оценка разрешающей способности.* Разрешающая способность характеризует предельные возможности системы воспроизводить раздельно близко расположенные детали объекта на изображении, однако, как критерий качества изображения, не учитывает поведение системы в отображении размеров деталей объекта контроля, что может привести к значительным погрешностям в количественной оценке.

*Оценка отношения сигнал/шум.* В качестве критерия рассматривается отношение математического ожидания изображения к СКО шума на выходе системы. Чем больше величина критерия, тем меньше возможные отклонения изображения на выходе системы от среднего. Широкое применение получили благодаря простоте и скорости вычислений.

Недостатком использования данного критерия в системах цифровой обработки изображений, и в частности в цифровых фильтрах, является то, что данная величина не имеет абсолютного значения. При обработке изображений следует также учитывать, что данный критерий плохо согласуется с критерием субъективного восприятия.

*Оценка информационной емкости изображения.* Информационная емкость изображения означает предельное количество информации, содержащейся в изображении, и определяется как [8]:

$$I = n \cdot \log_2 m,$$

где  $n = M_1 M_2 R^2$  – число разрешаемых элементов изображения;  $R$  – разрешающая способность системы;  $m$  – число различаемых градаций интенсивности.

Важным недостатком информационной емкости является то, что в этом критерии не учитывается смысловое содержание информации.

*Оценка резкости изображения.* Под резкостью изображения понимают степень размытия границы между двумя соседними участками изображения с разной интенсивностью (яркостью). Резкость изображения определяется путем вычисления меры эксцесса двумерного спектра Фурье по следующему алгоритму [9]:

- выделение прямоугольной области на изображении;
- преобразование выделенной области интереса в частотную;
- вычисление меры эксцесса двумерного спектра Фурье полученной области. Эксцесс определяется как отношение четвертого центрального момента и квадрата второго центрального момента (стандартное отклонение в четвертой степени):

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} = \frac{\mu_4}{\sigma^4},$$

где  $\mu_2$  – второй центральный момент;  $\mu_4$  – четвертый центральный момент;  $\sigma$  – стандартное отклонение. По результатам экспериментов получено соответствие более резкого изображения большей величине эксцесса [9].

В [8] описывается метод оценки резкости изображения по углу наклона профиля яркости изображения на границе перепада.

Однако данные критерии не являются достаточно совершенными и приемлемы к оценке качества изображения только в частных случаях.

*Оценка контраста изображения.* Контраст изображения в целом определяется из контраста отдельных элементов изображения, которые рассматриваются как равнозначные. Контраст каждой пары элементов изображения (например, соседних пикселей по горизонтали и вертикали) определяется следующим образом:

$$K_{ij} = \frac{I_i[x, y] - I_j[x, y]}{I_i[x, y] + I_j[x, y]},$$

где  $I_i[x, y], I_j[x, y]$  – значения яркости элементов изображения.

В результате получается матрица локальных контрастов, проведя усреднение которой получают суммарный контраст изображения [9]. Сюжетность изображения предполагает возможность его использования человеком. Поэтому при оценке контраста, как одного из параметров качества изображения, необходимо учитывать ряд особенностей зрительного восприятия человека, что является сложным и длительным.

*Оценка распределения яркостей элементов изображения.* Согласно экспериментальным исследованиям установлено, что оптимальное, с точки зрения субъективного восприятия, изображение имеет нормальное распределение яркостей его элементов [9]. Оценка качества изображения проводится по степени отклонения реального распределения яркостей от нормального. Однако данный критерий не всегда позволяет объективно оценить качество изображения, особенно с точки зрения его визуального восприятия.

*Оценка распределения энергии изображения по частотным интервалам.* Метод анализа распределений энергии изображения по заданным частотным интервалам основан на исследовании энергетических характеристик в области пространственных частот [10, 11]. Оценка качества изображения по частотным интервалам достаточно трудоёмка, сложна в применении и её использование для целей сравнения бывает затруднено.

Определение абсолютной количественной оценки качества изображения – это очень сложная, трудоёмкая и до сих пор не решенная до конца задача.

### **Цель работы**

Целью работы является разработка нового метода многокритериальной оценки качества маммограммы, включающего как субъективные, так и объективные характеристики маммографического изображения.

### **Изложение основного материала**

Для решения задачи оценки качества маммографического изображения в общем виде нужно найти количественные оценки, которые

наилучшим образом соответствуют субъективным. Для этого необходимо выполнение следующих этапов:

- подготовка набора изображений, на котором выполняются оценки качества;
- количественный анализ качества изображения различными методами, в результате чего получают оценки качества изображения для каждого метода оценивания;
- субъективный анализ принятого изображения экспертами (врачами-рентгенологами), которым демонстрируются изображения.

В соответствии с выделенными этапами был разработан метод многокритериальной оценки качества маммограмм, основанный на экспертных оценках и учитывающий как субъективные, так и объективные характеристики маммографического изображения. Предлагаемый метод заключается в следующем.

Вначале производится выбор критериев оценки качества диагностических изображений, которые могут быть основаны как на контроле объективных характеристик полученного изображения с использованием тест-объектов, так и на анализе качества изображений экспертами по заданным критериям с учетом вида диагностического исследования.

В маммографии к объективным характеристикам диагностического изображения, которое можно оценить с помощью тест-объектов, относятся такие параметры как: толщина нейлоновых нитей, скопление микрокальцинатов в зависимости от размеров зерен и толщина округлых контрастных образований. К показателям, по которым можно оценить изображение как единое целое, относятся пространственное разрешение и контрастность.

Объем информации на рентгеновском снимке находится в прямой зависимости от разрешающей способности, а именно: объем информации пропорционален квадрату разрешающей способности. При повышении разрешающей способности в 2 раза информативность изображения увеличивается в 4 раза.

Разрешающая способность тесно связана с контрастностью, под которой понимают визуально воспринимаемую разность оптических плотностей почернения соседних участков снимка. Изображения как с высокой, так и с малой контрастностью оцениваются визуально как недостаточно качественные.

Далее в соответствии с выбранными критериями происходит разработка интегральных шкал оценок качества маммограммы, основанных на контроле как объективных, так и субъективных характеристик маммографического изображения. Структуры разработанных шкал представлены в табл. 2-5.

Таблица 2 – Шкала оценок качества маммографического изображения по толщине нейлоновых нитей

Нормализованная оценка, к	Шкала качества	Толщина нейлоновых нитей, мм
0	1 (очень плохо)	1,56 – 1,13
0,2	2 (плохо)	1,12 – 0,90
0,4	3 (удовлетворительно)	0,89 – 0,76
0,6	4 (хорошо)	0,75 – 0,55
0,8	5 (очень хорошо)	0,54 – 0,41
1	6 (отлично)	≤0,4

Таблица 3 – Шкала оценок качества маммографического изображения по скопленению микрокальцинатов в зависимости от размеров зерен

Нормализованная оценка, к	Шкала качества	Размеры зерен, мм
0	1 (очень плохо)	0,54 – 0,41
0,25	2 (плохо)	0,40 – 0,33
0,5	3 (удовлетворительно)	0,32 – 0,25
0,75	4 (хорошо)	0,24 – 0,17
1	5 (отлично)	≤0,16

Затем группе специально отобранных врачей-рентгенологов, компетентных в данной области и получивших детальный инструктаж, в течение некоторого промежутка времени (как правило, не более 30 минут) демонстрируются маммографические изображения. Изображения наблюдаются при оптимальных уровнях яркости (60÷80 кд/м<sup>2</sup>) и фона (20÷30 кд/м<sup>2</sup>), эксперты находятся на оптимальном расстоянии рассматривания от монитора (3÷5 высот экрана). Задача врачей-рентгенологов заключается в оценке качества маммографического изображения в баллах с использованием разработанных интегральных шкал оценок, считая, что идеальное изображение имеет максимальный балл.

Средняя оценка определяется по формуле [12]:

$$g_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^r i \cdot n_i,$$

где  $N$  – общее число оценок;  $n_i$  – число оценок равных  $i$  баллам;  $r$  – количество видов разных оценок.

В табл. 2-5 нормализованные оценки  $k$  выражают относительное качество в диапазоне [0;1].

После этого оценки разных экспертов для одного и того же изображения усредняются.

При шестибальной системе, когда  $g \in [1, 6]$ :  $k=(g-1)/5$ , а средняя оценка качества маммограммы вычисляется в соответствие с формулой:

$$k_{ijcp} = (n_6 + 0,8 \cdot n_5 + 0,6 \cdot n_4 + 0,4 \cdot n_3 + 0,2 \cdot n_2) / N. \quad (1)$$

Таблица 4 – Шкала оценок качества маммографического изображения в зависимости от толщины округлых контрастных образований

Нормализованная оценка, к	Шкала качества	Толщина контрастных образований, мм
0	1 (очень плохо)	2,00 – 1,10
0,25	2 (плохо)	1,00 – 0,76
0,5	3 (удовлетворительно)	0,75 – 0,51
0,75	4 (хорошо)	0,50 – 0,26
1	5 (отлично)	≤0,25

При пятибалльной системе, в случае  $g \in [1, 5]$ :  $k=(g-1)/4$ . Средняя оценка определяется по следующей формуле [12]:

$$k_{ijcp} = (n_5 + 0,75 \cdot n_4 + 0,5 \cdot n_3 + 0,25 \cdot n_2) / N. \quad (2)$$

Таблица 5 – Шкала субъективных оценок качества контрастности и резкости маммографического изображения

Нормализованная оценка, к	Шкала качества	Комментарии
0	1 (очень плохо)	Очень плохое. Наблюдаются многочисленные искажения
0,25	2 (плохо)	Изображение плохого качества. Наблюдаются некоторые искажения
0,5	3 (приемлемо)	Изображение приемлемого качества. Искажения не наблюдаются
0,75	4 (хорошо)	Изображение высокого качества. Искажения не наблюдаются
1	5 (отлично)	Изображение чрезвычайно высокого качества.

Надёжность результатов субъективной экспертизы определяется доверительной вероятностью  $p$ , гарантирующей, что отличие оценки качества, полученной в результате усреднения экспертных оценок, будет отличаться от действительного значения не более чем на допустимую величину (погрешность)  $\Delta$ , являющуюся доверительным интервалом. Экспериментально установлено, что при проведении статических экспериментов на основе визуальной оценки параметров изображений погрешность  $\Delta$  и вероятность  $p$  достаточно выбирать соответственно 0.1 и 0.9.

Далее происходит сравнение усредненных оценок качества изображения, полученного в результате обработки различными методами. Для

выбора наиболее диагностически информативной и качественной маммограммы, полученной в результате цифровой обработки различными методами, предлагается использовать следующие критерии оптимальности в условиях неопределенности: осторожного наблюдателя (Вальда), «максимакса», минимального риска (Сэвиджа), пессимизма-оптимизма (Гурвица) и рациональности (критерий Лапласа).

Для сравнительной оценки качества маммографического изображения  $a_i$ , обработанного различными методами, по критериям  $b_j$  на первом этапе необходимо формализовать используемые переменные:  $\kappa_{ijcp}$  – средние значения оценок качества маммографического снимка  $a_i$  по каждому критерию;  $\kappa(a_i)$  – качество маммограммы  $a_i$ . Далее составляется матрица оценок качества маммограммы в виде табл. 6, где каждая строка таблицы содержит средние значения оценок качества маммограммы по всем критериям оценивания, а каждый столбец – средние значения оценок качества маммограммы по одному критерию оценивания.

Таблица 6 – Матрица оценок качества маммограммы

	$b_1$	$b_2$	...	$b_j$
$a_1$	...	...	...	...
$a_2$	...	...	...	...
...	...	...	...	...
$a_i$	...	...	...	...

Критерий Вальда – это максиминный критерий, по данному критерию правило принятия решений имеет следующий вид:

$$\kappa(a_i) = \min(\kappa_{ijcp}).$$

Оптимальным для восприятия считается маммографическое изображение из строки с максимальным значением качества [13]:

$$\kappa_{opt} = \max(\kappa(a_i)).$$

Критерий «максимакса» предполагает, что из всех возможных вариантов «матрицы решений» выбирается та альтернатива, которая из всех самых благоприятных ситуаций развития событий имеет наибольшее из максимальных значений (т.е. или максимальное из максимальных):

$$\kappa(a_i) = \max(\kappa_{ijcp}).$$

Маммографическое изображение из строки с максимальным значением качества является оптимальным:

$$\kappa_{opt} = \max(\kappa(a_i)).$$

Критерий Сэвиджа считается минимаксным критерием. Для определения критерия Сэвиджа рассчитывается матрица потерь. Каждый элемент матрицы потерь определяется как разность между

максимальным и текущим значениями оценок качества маммографического изображения в столбце.

Выбор наиболее качественного маммографического изображения согласно критерию Сэвиджа осуществляется следующим образом:

$$\kappa(a_i) = \max(\kappa_{ijcp}).$$

Оптимальный для постановки диагноза считается маммографический снимок из строки с минимальным значением оценки качества:

$$\kappa_{opt} = \min(\kappa(a_i)).$$

Критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица) является критерием обобщенного макси/мини. Согласно данному критерию вводится коэффициент оптимизма  $n$  ( $0 < n < 1$ ). Его значение выбирается лицом принимающим решение, в зависимости от опыта принятия решений в условиях неопределенности и личных склонностей к оптимизму ( $n \rightarrow 1-0$ ) или пессимизму ( $n \rightarrow 0+0$ ). При отсутствии ярко выраженных склонностей  $n = 0,5$  представляется наиболее разумным.

Критерий Гурвица находится как взвешенная сумма максимальной и минимальной оценок:

$$\kappa(a_i) = n \max(\kappa_{ijcp}) + (1 - n) \min(\kappa_{ijcp}).$$

Наиболее оптимальной для постановки диагноза считается маммограмма из строки с максимальным значением оценки качества:

$$\kappa_{opt} = \max(\kappa(a_i)).$$

Критерий Лапласа или Байесов критерий позволяет условие неопределенности сводить к условиям риска [13]. Также его называют критерием рациональности, и он подходит для стратегических долгосрочных решений, как и все вышеназванные критерии.

Согласно критерию Лапласа для маммографического снимка, обработанного различными методами цифровой обработки, подсчитывается сумма значений оценок качества по каждому критерию и делится на вероятность выбора данного изображения:

$$\kappa(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \kappa_{ijcp},$$

где  $n$  – количество сравниваемых методов цифровой обработки.

Оптимальным для восприятия считается изображение из строки с максимальным значением оценки качества:

$$\kappa_{opt} = \max(\kappa(a_i)).$$

### Обсуждение результатов

Предложенный метод многокритериальной оценки качества маммограмм был апробирован на

реальных цифровых маммографических изображениях, полученных с помощью маммографического комплекса Сима (фирма «РАДМИР» ДП АО НИИРИ, г. Харьков). Оценка качества обработанных цифровых маммограмм осуществлялась компетентными врачами-рентгенологами с использованием разработанных интегральных шкал. На основании полученных усредненных оценок экспертов (врачей-рентгенологов) были составлены матрицы оценок качества для каждой маммограммы. В табл. 7 приведен пример сравнения различных видов обработки для конкретной маммограммы. В табл. 7  $a_1$  – исходное изображение,  $a_2$  – маммограмма, обработанная разработанным автором методом *IMRI-MAM* [14],  $a_3$  – маммограмма, обработанная с использованием комплексного программного обеспечения *GOView Mammo3* [15],  $b_1$  – толщина нейлоновых нитей,  $b_2$  – скопление микрокальцинатов в зависимости от размеров зерен,  $b_3$  – толщина округлых контрастных образований,  $b_4$  – пространственное разрешение,  $b_5$  – контрастность.

Таблица 7 – Матрица оценок качества маммограммы

$a_i$	$b_j$				
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
$a_1$	0,2	0	0	0	0,25
$a_2$	1	1	1	1	0,75
$a_3$	0,6	0,25	0,5	0,5	0,25

Результаты сравнения усредненных оценок качества маммографического изображения, полученного в результате обработки различными методами представлены в табл. 8.

Согласно рассчитанным значениям всех критериев наиболее оптимальным для восприятия врачами-рентгенологами и постановки правильного диагноза является маммографическое изображение, обработанное предложенным в [14] автором методом повышения качества визуализации маммограмм *IMRI-MAM* (табл. 8). Оценка качества остальных маммографических изображений показала аналогичный результат.

Таблица 8 – Значения оптимальных коэффициентов качества

$a_i$	Конт по критерию Вальда	Конт по критерию «максимакса»	Конт по критерию Сэвиджа	Конт по критерию Гурвица	Конт по критерию Лапласа
$a_1$	0,00	0,25	0,50	0,13	0,15
$a_2$	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,88</b>	<b>1,58</b>
$a_3$	0,25	0,6	0,40	0,43	0,70

## Выводы

Таким образом, в медицинской практике для решения задачи оценки качества изображений молочной железы предлагается применять разработанный метод многокритериальной оценки качества маммограмм, основывающийся на контроле как объективных, так и субъективных характеристик маммографического изображения. Предложенный метод позволит избавиться от трудоемкой и неточной современной методики оценки изображений посредством только субъективной экспертизы.

## Список литературы

- 1 **Wood, W. C.** Cancer of the breast / **W. C. Wood, H. B. Muss, L. J. Solin, S. Hellman, S.A. Rosenberg** (eds) // *Cancer Principles and Practice of Oncology*. – Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins. – 2005. – P.1453-1462.
- 2 **Dyrstad, S. W.** Breast cancer risk associated with benign breast disease: systematic review and meta-analysis / **S. W. Dyrstad, Y. Yan, A. M. Fowler, G. A. Colditz** // *Breast Cancer Res. Treat.* – 2015. – N 149(3). – 569-75. – doi: 10.1007/s10549-014-3254-6.
- 3 **Фисенко, В. Т.** Компьютерная обработка и распознавание изображений / **В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко** // учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО. – 2008. – 192 с.
- 4 Введение в обработку изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://blog.piclab.ru/download/DIP\\_Introduction.pdf](http://blog.piclab.ru/download/DIP_Introduction.pdf).
- 5 **Макаров, А. О.** Алгоритмы увеличения пространственного разрешения и обработки мультиспектральных спутниковых изображений / **А. О. Макаров** // Дис. канд. техн. наук: 05.13.01. – Минск, 2006. – 156 с.
- 6 **Wang, Z.** Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / **Z. Wang** // *IEEE transaction on Image Processing*. – 2004. – Vol. 13, № 4. – P. 309-312. – doi: 10.1109/TIP.2003.819861.
- 7 **Григоров, М. С.** Математическое и программно-техническое обеспечение неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей / **М. С. Григоров** // Дис. канд. техн. наук: 05.11.13. – Санкт-Петербург. – 2015. – 142 с.
- 8 **Wang, X.** Blind Image Quality Assessment for Measuring Image Blur / **X. Wang, B. Tian, C. Liang, D. Shi** // *Congress on Image and Signal Processing*. – 2008. – Vol. 1. – P. 467-470. – doi: 10.1109/CISP.2008.371.
- 9 **Монич, Ю. И.** Оценки качества для анализа цифровых изображений / **Ю. И. Монич, В. В. Старовойтов** // *Искусственный интеллект*. – 2008. – № 4. – С. 376-386.
- 10 **Черноморец, А. А.** Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам / **А. А. Черноморец, О. Н. Иванов** // *Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика*. – 2010. – №19(90). – вып.16/1. – С.161-166.
- 11 **Gonzalez, R.** Digital Image Processing / **R. Gonzalez, Richard E. Woods** // *Pearson Education*. – 2011. – 976 с.
- 12 **Колдаев, В. Д.** Оценка качества алгоритмов сегментации изображений / **В. Д. Колдаев** // *Ключевые проблемы современной науки. Материалы за 10-а международна научна практика конференция Ключови въпроси в съвременната наука* (17-25 април 2014 г.). Технологии. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – Том 38. – С. 3-6.
- 13 **Сорока, К. О.** Основи теорії систем і системного аналізу / **К. О. Сорока** // навч. посібник. – 2-ге вид. перероб. та випр. – Х.: Тимченко. – 2005. – 288 с.

- 14 **Бойко, Д. А.** Метод повышения качества визуализации рентгенологических изображений / **Д. А. Бойко, А. Е. Филатова** // *Вестник Национального технического университета "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – №32(1141). – С. 19-26.
- 15 GOPView Mammo3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.contextvision.com/modalities/mammography/>
- Bibliography (transliterated)**
- 1 **Wood, W. C., Muss, H. B., Solin, L. J., Hellman, S., Rosenberg, S.A.** (eds) Cancer of the breast. *Cancer Principles and Practice of Oncology*, Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2005, 1453-1462.
- 2 **Dyrstad, S. W., Yan, Y., Fowler, A. M., Colditz, G. A.** Breast cancer risk associated with benign breast disease: systematic review and meta-analysis. *Breast Cancer Res. Treat.* 2015, **149**(3), 569-75, doi: 10.1007/s10549-014-3254-6.
- 3 **Fisenko, V. T., Fisenko, T. Ju.** Komp'yuternaja obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij [Computer processing and image recognition]. *ucheb. Posobie*, SanktPeterburg: SPbGU ITMO, 2008, 192 p.
- 4 Vvedenie v obrabotku izobrazhenij [Introduction to image processing], [Web]: [http://blog.piclab.ru/download/DIP\\_Introduction.pdf](http://blog.piclab.ru/download/DIP_Introduction.pdf).
- 5 **Makarov, A. O.** Algoritmy uvelichenija prostranstvennogo razreshenija i obrabotki mul'tispektral'nyh sputnikovyh izobrazhenij [Algorithms to increase the spatial resolution and multispectral satellite imagery processing]. *Dis. kand. tehn. nauk:* 05.13.01, Minsk, 2006, 156 p..
- 6 **Wang, Z.** Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE transaction on Image Processing*, 2004, **13**(4), 309-312, doi: 10.1109/TIP.2003.819861.
- 7 **Grigorov, M. S.** Matematicheskoe i programmno-tehnicheskoe obespechenie nerazrushajushhego rentgenovskogo kontrolja jelektronnyh module [Mathematical and software and technical support for non-destructive X-ray inspection of electronic modules]. *Dis. kand. tehn. nauk:* 05.11.13, Sankt-Peterburg, 2015, 142 p.
- 8 **Wang, X., Tian, B., Liang, C., Shi Blind, D.** Image Quality Assessment for Measuring Image Blur. *Congress on Image and Signal Processing*, 2008, **1**, 467-470, doi: 0.1109/CISP.2008.371.
- 9 **Monich, Ju. I., Starovojtov, V. V.** Ocenki kachestva dlja analiza cifrovyh izobrazhenij [Quality Assessment for the analysis of digital images]. *Iskusstvennyj intellekt [Artificial Intelligence]*, 2008, **4**, 376-386.
- 10 **Chernomorec, A. A., Ivanov, O. N.** Metod analiza raspredelenija jenergij izobrazhenij po zadannym chastotnym intervalam [Distribution of energy analysis method images of certain frequency range]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika [Scientific statements BSU. Ser. History. Political science. Economy. Computer science]*, 2010, **19(90)**, 16/1, 161-166.
- 11 **Gonzalez, R., Woods, Richard E.** Digital Image Processing. *Pearson Education*, 2011, 976 p.
- 12 **Koldaev, V. D.** Ocenka kachestva algoritmov segmentacii zobrazhenij. Kljuchevye problemy sovremennoj nauki [Evaluation of the quality of image segmentation algorithms]. *Materiali za 10-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferencija Kljuchovi voprosi v sovremennata nauka». Tehnologii [Materials for the 10th International scientific practical conference Key issues in modern science]*. Sofija: «Bjal GRAD-BG» OOD, 2014, **38**, 3-6.
- 13 **Soroka, K. O.** Osnovi teorii sistem i sistemnogo analizu [Basic theory of Systems]. navch. posibnik. Kharkiv: Timchenko, 2005, 288 p.
- 14 **Bojko, D. A., Filatova, A. E.** Metod povyshenija kachestva vizualizacii rentgenologicheskikh izobrazhenij [Method of improving the quality of visualization of radiological images]. *Bulletin of the National Technical University "KPI". Series: Information and Modeling*. Khar'kov: NTU «KhPI», 2015, **32**(1141), 19-26.
- 15 GOPView Mammo3 [Web]: <http://www.contextvision.com/modalities/mammography/>

#### Сведения об авторах (About authors)

**Бойко Дмитрий Александрович** – аспирант кафедры вычислительной техники и программирования, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков; e-mail: [boo.bda88@gmail.com](mailto:boo.bda88@gmail.com)

**Bojko Dmitry Aleksandrovich** – Postgraduate student of the Department of Computer technology and Programming, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine; e-mail: [boo.bda88@gmail.com](mailto:boo.bda88@gmail.com)

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

**Бойко, Д. А.** Оценка качества визуализации маммограмм / **Д. А. Бойко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 29-35. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.05.

Please cite this article as:

**Bojko, D. A.** Imaging quality assessment of mammograms. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 29-35, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.05.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

**Бойко, Д. О.** Оцінка якості візуалізації маммограмм / **Д. О. Бойко** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 29-35. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.05.

**АНОТАЦІЯ** Запропоновано та обґрунтовано новий метод багатокритеріальної оцінки якості цифрового зображення молочної залози. Розроблені шкали інтегральних оцінок якості маммограм, що засновані на аналізі окрім суб'єктивних критеріїв також об'єктивних характеристик маммографічного зображення. З використанням розроблених шкал лікарі-рентгенологі оцінюють якість конкретного маммографічного знімку. Для порівняння усереднених оцінок якості маммографічного зображення, що отримане внаслідок обробки різними методами, пропонується використовувати різні критерії оптимальності в умовах невизначеності.

**Ключові слова:** молочна залоза, маммограма, метод, цифрова обробка зображень, експертні оцінки

Поступила (received) 30.06.2016