

Інформаційні технології

УДК 004.932.2:616-073.75

Д.А. Бойко

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАММОГРАММ

Статья посвящена разработке метода многокритериальной оценки качества визуализации маммограмм, который основан как на субъективных, так и объективных характеристиках маммографического изображения, что позволяет учитывать особенности анализируемых снимков. Разработаны шкалы интегральных оценок качества маммограмм, с помощью которых врачи-рентгенологи оценивают конкретный маммографический снимок. Предложенный метод с использованием разработанных интегральных шкал оценок качества маммограмм позволит избавиться от трудоемкой и неточной современной методики оценки изображений посредством только субъективной экспертизы.

Ключевые слова: метод, оценка качества, интегральные шкалы.

Введение

Постановка проблемы. На сегодняшний день в условиях роста числа онкологических заболеваний молочной железы обследование женщин с целью выявления патологий на ранних стадиях является чрезвычайно актуальной задачей [1, 2]. Существуют различные виды исследований молочной железы: клиническое; традиционное рентгенологическое (аналоговая или цифровая маммография); стандартное ультразвуковое исследование и магнитно-резонансная томография. Маммография – наиболее простой и безопасный для обследуемых метод, отличающийся высокой диагностической эффективностью.

К качеству оборудования, используемого для исследования молочных желез, и к квалификации специалистов, осуществляющих эти исследования, предъявляются серьезные требования. Маммография должна проводиться только с использованием современных цифровых маммографов, имеющих автоматический режим выбора экспозиции. Маммограммы высокого качества являются ключевым фактором успеха скрининговой программы для обнаружения рака молочной железы.

Немало важным является специальная оценка качества маммографических изображений, которые необходимы для выявления отклонений в состоянии молочных желез. В настоящее время существующие подходы к оценке качества изображений молочной железы не в полной мере удовлетворяют требованиям врачебной практики. Поэтому, разработка новых методов для оценки качества маммограмм, необходимые специалисту для постановки правильного

диагноза и выбора адекватной лечебной тактики, является актуальной научно-технической задачей.

Анализ литературы. Существует два подхода к оценке качества изображений: 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). Эксперт оценивает качество рентгеновского изображения в баллах по определенной шкале, считая, что идеальное изображение имеет максимальный балл. Однако данный подход довольно трудоемкий и зависит от многих факторов (условий наблюдения, остроты зрения и квалификации врача и т.д.), требующий 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 Прэтта. Отсутствие эталонного изображения молоч-

ной жезезы исключает возможность применения данной группы методов.

Рассмотрим существующие абсолютные методы оценки качества изображений [3].

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 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. В [4] 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. Однако при оценке контраста, как одного из параметров качества изображения, необходимо учитывать ряд особенностей зрительного восприятия человека, что является сложным и длительным.

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. 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.

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

Оценка распределения яркостей элементов изображения. Согласно экспериментальным исследованиям установлено, что оптимальное, с точки зрения субъективного восприятия, изображение

имеет нормальное распределение яркостей его элементов [5]. 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 распределения энергии изображения по заданным частотным интервалам основан на исследовании энергетических характеристик в области пространственных частот. 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.

Формулирование цели статьи. Целью данной работы является разработка нового метода многокритериальной оценки качества визуализации маммограмм, учитывающего как субъективные, так и объективные характеристики маммографического изображения, что позволит быстро и качественно проводить оценку маммографических изображений.

Основной материал

Разработан метод многокритериальной оценки качества визуализации 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.

Далее в соответствии с выбранными критериями происходит разработка интегральных шкал оценок качества маммограмм.

Структуры разработанных шкал представлены в табл. 1 – 4.

Таблиця 1

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

Таблиця 2

Шкала оценок качества маммографического изображения
по скоплению 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

Таблиця 3

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

Таблиця 4

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.

Затем группе специально отобранных врачей-рентгенологов в течение некоторого промежутка

времени демонстрируются маммографические изображения. Задача врачей-рентгенологов заключает-

ся в оцінку якості маммографічного зображення в балах з використанням розроблених інтегральних шкал оцінок, вважаючи, що ідеальне зображення має максимальний балл.

Середня оцінка визначається по формулі [6]:

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

де N – загальне число оцінок; n_i – число оцінок рівних i балам; r – кількість видів різних оцінок. Нормалізовані оцінки k виражають відносне якість в діапазоні $[0;1]$.

Після цього нормалізовані оцінки експертів для одного і того ж зображення усереднюються.

При шестибальному системі, коли $g \in [1,6]$: $k = (g-1)/5$, а середня оцінка якості маммограми обчислюється в відповідності з формулою:

$$k_{\text{іср}} = \frac{n_6 + 0,8 \cdot n_5 + 0,6 \cdot n_4 + 0,4 \cdot n_3 + 0,2 \cdot n_2}{N}.$$

При п'ятибальному системі, в разі $g \in [1,5]$: $k = (g-1)/4$. Середня оцінка визначається по наступній формулі [6]:

$$k_{\text{іср}} = \frac{n_5 + 0,75 \cdot n_4 + 0,5 \cdot n_3 + 0,25 \cdot n_2}{N}.$$

Далі відбувається порівняння усереднених оцінок якості зображення до і після обробки різними методами з використанням наступних критеріїв оптимальності в умовах неопре-

деленності: обережного спостерігача (Вальда), «максимакса», мінімального ризику (Севіджа), песимізму-оптимізму (Гурвица) і раціональності (критерій Лапласа).

Апробація розробленого методу багатокритеріальної оцінки якості маммограм здійснювалась з використанням цифрового маммографічного комплексу Сіма (фірма «РАДМІР» ДП АО НІІІРІ, г. Харків). В результаті були отримані маммограми (около 52 штуки) в вигляді рентгеновських знімків молочної залози. Оцінка якості маммограм здійснювалась компетентними лікарями-рентгенологами з використанням розроблених інтегральних шкал. На основі отриманих усереднених оцінок експертів (лікарів-рентгенологів) були складені матриці оцінок якості для кожної маммограми. В табл. 5 наведено приклад порівняння різних видів обробки для конкретної маммограми. В табл. 5 a_1 – вихідне зображення, a_2 – маммограма, оброблена розробленим нами методом *IMRI-MAM* [7], a_3 – маммограма, оброблена з використанням комплексного програмного забезпечення *GOView Mammo3* [8], b_1 – товщина нейлонових ниток, b_2 – скоплення мікрокальцинів в залежності від розмірів зерен, b_3 – товщина округлих контрастних образів, b_4 – просторове роздільність, b_5 – контрастність.

Результати порівняння усереднених оцінок якості маммографічного зображення, отриманого в результаті обробки різними методами, представлені в табл. 6.

Таблиця 5

Матриця оцінок якості маммограмми

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

Таблиця 6

Значення оптимальних коефіцієнтів якості

a_i	Критерій Вальда	Критерій «максимакса»	Критерій Севіджа	Критерій Гурвица	Критерій Лапласа
a_1	0,00	0,25	0,50	0,13	0,15
a_2	0,75	1,00	0,00	0,88	1,58
a_3	0,25	0,6	0,40	0,43	0,70

Найбільш оптимальним для сприйняття лікарями-рентгенологами і постановки правильного діагнозу згідно розрахованим значенням всіх критеріїв є маммографічне зображення, оброблене методом підвищення якості візуалізації маммограм *IMRI-MAM* (табл. 6).

Також розроблений метод оцінювання якості даної маммограми узгодиться з суб'єктивним сприйняттям лікарів-рентгенологів (рис. 1).

Оцінка якості інших маммографічних зображень показала аналогічний результат.

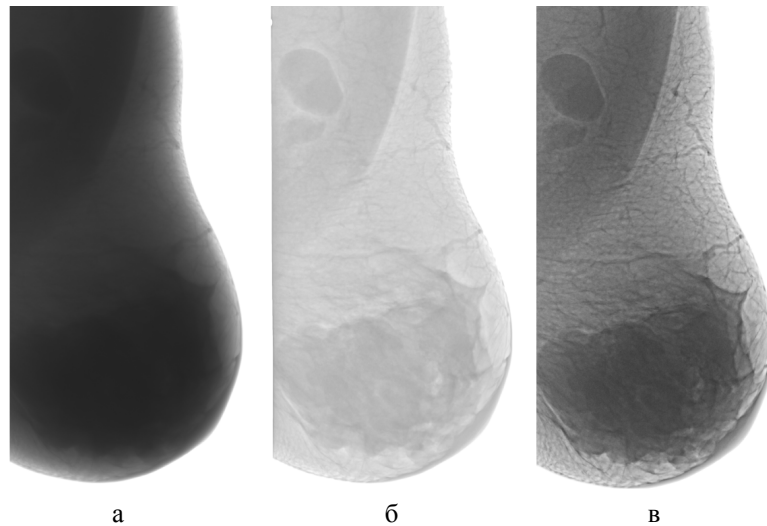


Рис. 1. Цифрова маммограма: а – до обробки; б і в – після обробки системою *GOPView Mammo3* і методом *IMRI-MAM*

Выводы

Таким образом, в медицинской практике для решения задачи оценки качества изображений молочной железы предлагается применять разработанный метод многокритериальной оценки качества визуализации 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. Смоланка И.И. Современный взгляд на проблему диагностики и лечения рака молочной железы / И.И. Смоланка, С.Ю. Скляр // *Жіночий лікар*, 2008. – № 5. – С. 8.
2. Бухарин Д.Г. Маммография в диагностике "малых" форм рака молочной железы на фоне фиброзно-кистозной болезни : дисс. ... канд. мед. наук. – Томск, 2013. – 101 с.
3. Григоров М.С. Математическое и программно-техническое обеспечение неразрушающего рентгеновского

контроля электронных модулей : дис ... канд. техн. наук: 05.11.13. – Санкт-Петербург, 2015. – 142 с.

4. Wang X. *Blind Image Quality Assessment for Measuring Image Blur* // *Congress on Image and Signal Processing*, 2008.

5. Мониц Ю.И. Оценки качества для анализа цифровых изображений / Ю.И. Мониц, В.В. Старовойтов // *Искусственный интеллект*. – 2008. – № 4. – С. 376–386.

6. Колдаев В.Д. Оценка качества алгоритмов сегментации изображений // *Ключевые проблемы современной науки. Материалы за 10-а международна научна практична конференция Ключови въпроси в съвременната наука* (17-25 април 2014 г.). – Том 38: Технологии. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – С. 3-6.

7. Бойко Д.А. Метод повышения качества визуализации рентгенологических изображений / Д.А. Бойко, А.Е. Филатова // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 32(1141). – С. 19-26.

8. *GOPView Mammo3*. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.contextvision.com/modalities/mammography/>.

Надійшла до редколегії 3.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.І. Поворознюк, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

РОЗРОБКА МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МАМОГРАМ

Д.О.Бойко

Стаття присвячена розробці методу багатокритеріальної оцінки якості візуалізації мамограм, який заснований як на суб'єктивних, так і об'єктивних характеристиках маммографічного зображення, що дозволяє враховувати особливості аналізованих знімків. Розроблено шкали інтегральних оцінок якості мамограм, за допомогою яких лікарі-рентгенологи оцінюють конкретний маммографічний знімок. Запропонований метод з використанням розроблених інтегральних шкал оцінок якості мамограм дозволить позбутися трудомісткої та неточної сучасної методики оцінки зображень за допомогою тільки суб'єктивної експертизи.

Ключові слова: метод, оцінка якості, інтегральні шкали.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF MULTI-CRITERIA QUALITY ASSESSMENT OF MAMMOGRAMS

D.A. Boyko

This paper deals with the development of a new method of multi-criteria quality assessment of mammograms, which considers both subjective and objective characteristics of the mammographic image. The proposed method that uses the developed integral scales of mammogram quality assessment will do away with the time-consuming and inaccurate current method of subjective image quality assessment.

Keywords: mammogram, method, quality assessment, integral scales.