

КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА НОВООБРАЗОВАНИЙ НА МАММОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Садыков С.С.¹, Буланова Ю.А.¹, Захарова Е.А.²

¹ Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,
² НУЗ Отделенческая больница на станции Муром ОАО «РЖД»

Аннотация

В работе предлагается технология компьютерной диагностики новообразований молочной железы трёх основных типов: киста, фиброаденома и рак. Отмечается, что использование такой технологии в лечебно-профилактическом учреждении при просмотре маммограмм уменьшает вероятность пропуска новообразования, находящегося на ранней стадии развития, а также сводит к минимуму субъективность постановки диагноза. Работа технологии исследуется на наборе реальных маммограмм из базы данных MIAS с известными диагнозами. Приведены результаты экспериментов, которые показывают возможность использования разработанной на основе этой технологии комплексной системы в маммографическом кабинете как для общих исследований, так и для скрининга.

Ключевые слова: обработка изображений, предварительная обработка, текстурный анализ, диагностика, маммограмма, новообразование, киста, фиброаденома, рак молочной железы.

Введение

Маммография – рентгенологический метод неинвазивного исследования молочной железы с целью выявления её патологий. В настоящее время данный метод является единственным методом диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований – рака молочной железы (злокачественная опухоль железистой ткани молочной железы). Онкологические опухоли не доставляют дискомфорта и болезненных ощущений на стадиях, при которых ещё возможно лечение, поэтому важна постановка правильного диагноза на ранней стадии, когда размер новообразования приближённо равен 7 мм [1].

Компьютерные системы диагностики (с англ. Computer Aided Detection – CAD) в маммографии ориентированы в основном на дорогостоящие цифровые маммографы, которые, к сожалению, в российских больницах сегодня распространены очень мало. Аналоговые маммографические комплексы не предполагают внедрения компьютерных систем, поэтому общими проблемами диагностики патологий молочной железы являются человеческий фактор, а также отсутствие средств автоматизации маммографического обследования [2].

Выявление патологий затрудняется строением молочной железы. Молочная железа состоит из трёх типов ткани, видимых на маммограмме: фиброзной, железистой и жировой. Фиброзная и железистая ткани имеют примерно одинаковую радиографическую плотность, и их нельзя адекватно различить на маммограмме. Жировая ткань лучше пропускает рентгеновские лучи, что приводит к увеличению контраста изображений. Поскольку мягкие ткани слабо различаются по коэффициентам поглощения рентгеновских лучей, изображение имеет слабый контраст, следовательно, обнаружение незначительных изменений в тканях на ранних стадиях болезни и выявление опухолей малых размеров являются затрудни-

тельными. При проецировании изображения молочной железы на рентгенограмме различные участки тканей накладываются друг на друга, что также искажает общую картину происходящих в тканях изменений. Для врача-рентгенолога практически невозможно выявить патологии в молочной железе с разного вида мастопатией (разрастание тканей молочной железы). Например, на рис. 1а представлен снимок здоровой молочной железы, а на рис. 1б видно, как плотно выглядит разрастание соединительной ткани молочной железы, что не позволяет диагностировать рак молочной железы [2].

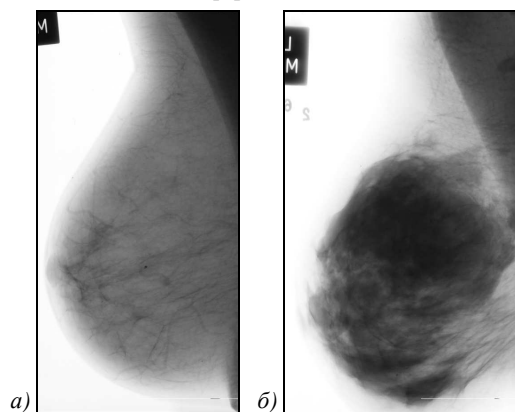


Рис. 1. Маммографические снимки: здоровой женщины (а), пациентки с заболеванием рак молочной железы на фоне мастопатии (б)

Анализ вышесказанного показывает актуальность технологии компьютерной диагностики новообразований на основе аналоговых маммограмм, доступной как узким специалистам, так и специалистам широкого профиля. Также можно сказать, что внедрение технологии и систем на её основе будет значительно дешевле использования специальных цифровых комплексов для маммографического исследования молочной железы. Кроме того, она может применяться повсеместно в российских медицинских учреждениях.

1. Тестовые изображения

Разработка технологии диагностики новообразований проводится на маммографических снимках из базы данных MIAS [3] с известными типами заболеваний и местом их локализации.

Исходный маммографический снимок представляется в виде некоторой функции $I(x, y)$. Изображение монохромное – имеется один канал яркости. Градации яркостей точек на снимке распределены в диапазоне $[0, 255]$. Область снимка включает фон, грудную мышцу, молочную железу.

2. Выделение области молочной железы

На первом этапе необходимо выделить область молочной железы на снимке, так как обработка всего снимка даёт искажённые результаты. Для этого используется случайное Марковское поле как модель маммограммы [4]. Пусть распределение яркостей на изображении имеет нормальное распределение и изображение разбивается на блоки 7×7 пикселей. Формируются компоненты Марковской модели для набора блоков $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$, где B – множество блоков, k – количество блоков, на которое разбито изображение.

$$W_i = \bigcup_{b_j \cap b_i \neq \emptyset} b_j, \quad (1)$$

где W_i – окрестность блока I ; $b \in B$; $i, j = 1, 2, \dots, k$.

Для каждой окрестности рассчитываются 2 показателя: средняя яркость и среднеквадратическое отклонение (СКО). Определяются достоверные интервалы для каждой области, затем осуществляется объединение одинаковых блоков. Исследования показали, что средняя яркость области молочной железы колеблется от 120 до 150, а СКО – от 12 до 30. Дальнейшая обработка проводится только внутри контура, который очерчивает молочную железу. Использование такой модели для обнаружения области молочной железы даёт возможность автоматически ограничивать область для последующей обработки, кроме того, учитывает особенности строения молочных желёз у каждого пациента индивидуально.

На рис. 2 отображена модель маммограммы: чёрным цветом выделен фон, белым – область грудной мышцы, серым – область молочной железы.

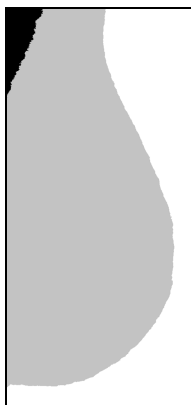


Рис. 2. Модель маммограммы

3. Гистограммные преобразования области молочной железы

Специалист, исходя из плотности молочной железы пациента, осуществляет предварительную обработку, используя алгоритмы гистограммного преобразования изображения и фильтрации [1].

Киста – это доброкачественное образование, представляющее полость, наполненную содержимым. На маммограмме киста представляет собой однородную тень округлой или овальной формы, по плотности сходную с железистой тканью молочной железы [1].

Для выделения кисты на фоне молочной железы используется гистограммное преобразование изображения, учитывающее средний контраст маммограммы [1, 5]. Пример обработки снимка с кистой представлен на рис. 3.

Рак молочной железы (РМЖ) – злокачественное новообразование, которое представляет собой звёздчатую структуру с нечёткими границами, имеющее низкую плотность [6].

Улучшение параметров снимка, содержащего РМЖ, требует вмешательства врача-рентгенолога, т.е. автоматизированной работы персонального компьютера и врача, так как для диагностики данного типа новообразования необходимо учитывать характеристики ткани молочной железы пациентки (жировая инволюция, фиброзно-кистозная болезнь (ФКБ), аденоз). Авторами были разработаны 3 алгоритма предварительной обработки маммографических снимков [5, 7, 8], учитывающих свойства ткани молочной железы и позволяющих обнаруживать опухоли, находящиеся под мастопатией, которые врач-рентгенолог не способен увидеть. На рис. 4 отображены исходный (рис. 4а) и обработанный снимки (рис. 4б) с РМЖ, а также их гистограммы.

Фиброаденома – это доброкачественное новообразование, одна из форм узловой мастопатии. На маммограммах фиброаденома представляет собой образование округлой, овальной формы с чётким ровным контуром. Плотность её выше или сравнима с плотностью ткани молочной железы [9].

Гистограммные преобразования области молочной железы, содержащей фиброаденому, аналитически записаны формулами (2) и (4).

$$Q_1(x, y) = k_{\max} \times p_1[k(x, y)] - \frac{p_1[k(x, y)] - p_1[0] + k_{cp}}{m \times n - p_1[0]}, \quad (2)$$

где $Q_1(x, y)$ – выходное изображение, $Y(x, y)$ – текущее значение яркости исходного снимка, k_{\max} , k_{cp} – максимальное и среднее значения яркости исходной маммограммы, соответственно,

$$p_1[i] = \sum_{j=0}^i h_1[j], \quad (3)$$

где i – значение градации яркости точки выходного снимка ($i = 0, 1, 2, \dots, 255$), j – значение градации яркости точки исходного снимка ($j = 0, 1, 2, \dots, 255$), H_1 – область распределения элементов гистограммы исходного изображения,

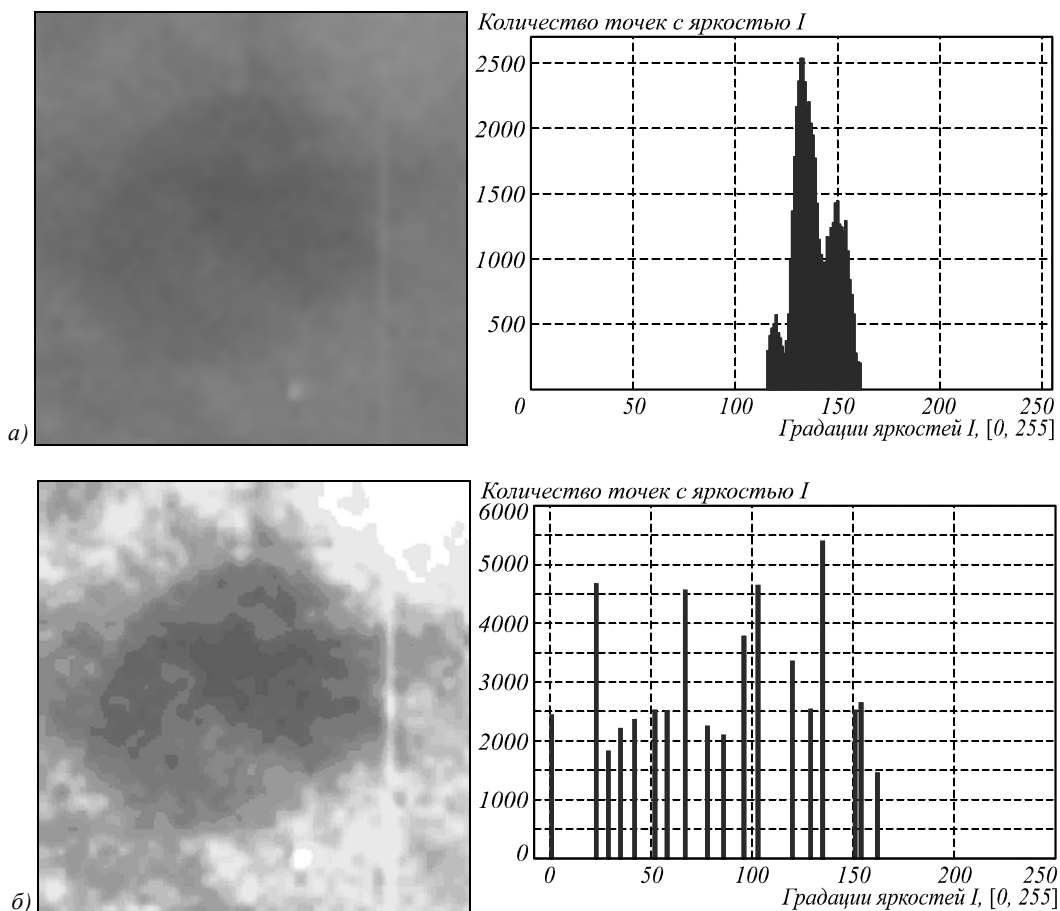


Рис. 3. Обработка маммограммы с кистой: исходный снимок mdb104 и его гистограмма (а), обработанный снимок и его гистограмма (б)

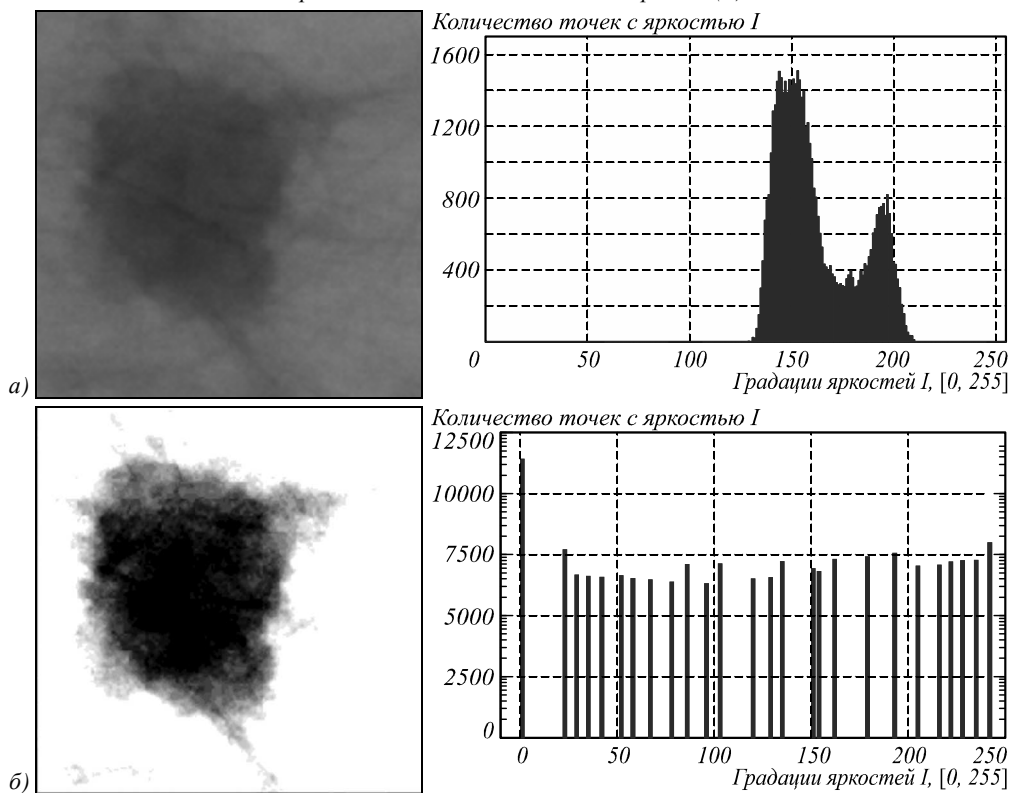


Рис. 4. Обработка маммограммы с РМЖ: исходный снимок mdb134 и его гистограмма (а), обработанный снимок и его гистограмма (б)

$h_1[j]$ – значение элемента гистограммы исходного снимка при яркости j ($h_1[j] \in H_1$), P_1 – область изменения элементов гистограммы выходного изображения $Q_1(x, y)$, $p_1[i]$ – значение элемента гистограммы выходного изображения при яркости i ($p_1[i] \in P_1$), $p_1[0] = p_1[Y(x, y) = 0]$ – значение элемента гистограммы обработанного изображения при яркости точки, равной 0, $m \times n$ – размер изображения.

$$Q_2(x, y) = \frac{r}{n \times m} \times (u[Q_1(x, y)] - u[0]) + \frac{Q_{2_max} \times (Q_1(x, y) - Q_{1_cp})}{Q_{1_cp} - Q_{1_min}}, \quad (4)$$

где $Q_2(x, y)$ – выходное изображение, Q_{2_max} – максимальное значение яркости выходного изображения, Q_{1_cp} , Q_{1_min} – среднее и минимальное значения яркости маммограммы соответственно, r – экспериментально подобранный коэффициент ($r = 0,09$).

$$p_2[i] = \sum_{j=0}^i h_2[j], \quad (5)$$

где i – значение градации яркости точки выходного снимка ($i = 0, 1, 2, \dots, 255$), j – значение градации яркости точки исходного снимка ($j = 0, 1, 2, \dots, 255$), H_2 – область распределения элементов гистограммы исходного изображения, $h_2[j]$ – значение элемента гистограммы снимка при яркости j ($h_2[j] \in H_2$), P_2 – область изменения элементов гистограммы выходного изображения $Q_1(x, y)$, $p_2[i]$ – значение элемента гистограммы выходного изображения при яркости i ($p_2[i] \in P_2$), $p_2[0] = p_2[Q_1(x, y) = 0]$ – значение элемента гистограммы обработанного изображения при яркости точки, равной 0, $m \times n$ – размер изображения.

4. Фильтрация

Обычно применение гистограммных преобразований в области молочной железы вызывает некоторые дополнительные шумы, поэтому для их устранения используются алгоритмы медианной [10] и сигма- [11] фильтрации.

5. Текстуальная сегментация, бинаризация, выделение контуров

На следующем этапе в зависимости от выбранных алгоритмов предварительной обработки изображение подвергается текстурной сегментации.

Исследования показали, что для обнаружения областей новообразований кисты, фиброаденомы и РМЖ наилучшим образом подходят алгоритмы маркерного водораздела [12] и Fuzzy C-mean [13].

Прежде чем выделить контур на изображении, текстурная карта [7] снимка подвергается бинаризации. Алгоритмы бинаризации для каждого вида новообразований свои, например, выделение области рака молочной железы на фоне аденоза осуществляется на основе выражения (6).

$$b(x, y) = w \times e(x, y)^5 - u[0], \quad (6)$$

где $b(x, y)$ – выходное изображение, $e(x, y)$ – текстурная карта снимка,

$$u[i] = \sum_{j=0}^i z[j], \quad (7)$$

где i – значение градации яркости точки выходного снимка ($i = 0, 1, 2, \dots, 255$), j – значение градации яркости точки исходного снимка ($j = 0, 1, 2, \dots, 255, j \leq i$), $z[j]$ – значение элемента гистограммы исходного снимка при яркости j ($z[j] \in Z$), $u[i]$ – значение элемента гистограммы выходного изображения при яркости i ($u[i] \in U$), $u[0] = u[e(x, y) = 0]$ – значение элемента гистограммы обработанного изображения при яркости точки, равной 0, w – коэффициент, от которого зависит отображение различных типов тканей (если $w = 0,01$, то на снимке остаются только области грудной мышцы и РМЖ) ($0 < w \leq 10$), $m \times n$ – размер изображения.

Выделение контура обнаруженной области осуществляется с помощью алгоритма из [14].

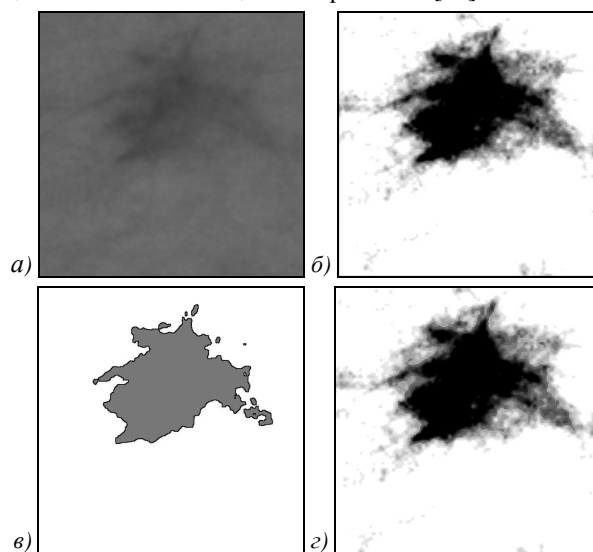


Рис. 5. Обработка маммограммы с РМЖ: исходный снимок *mdb144* (а), предварительная обработка исходного снимка (б), текстурная сегментация (в), наложение контуров выделенного новообразования (г)

На рис. 5 изображён процесс выделения РМЖ на маммограмме: к исходному изображению (рис. 5а) применяется разработанный алгоритм [7] гистограммных преобразований (рис. 5б), затем это изображение подвергается текстурной сегментации (рис. 5в) и контуры выделенного новообразования накладываются на обработанную маммограмму (рис. 5г).

6. Текстуальные признаки

Вычисляются текстурные признаки каждой выделенной области. Полное описание новообразования осуществляется с помощью текстурных признаков Харалика второго порядка. Для их определения проводится расчёт матрицы смежности [15, 16], которая содержит относительные частоты p_{ij} наличия на изображении соседних элементов, расположенных на расстоянии d друг от друга, с яркостями $i, j \in G$, $G \in [0, 255]$, где G – множество значений яркостей полутонового изображения. Для каждого изображения рассчитываются 4 матрицы смежности в направлениях $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, затем по ним определяются 14 текстурных признаков второго порядка, таких как: второй угловой момент, контраст, разностный мо-

мент, обратный разностный момент, суммарное среднее, суммарная энтропия, энтропия, разностная энтропия, разностная вариация, корреляция, коэффициент вариации, диагональный момент, второй диагональный момент, момент произведения.

В данном исследовании для формирования матрицы смежности использовалось расстояние, равное 1 по 4 направлениям (0° , 45° , 90° , 135°), таким образом, общее количество признаков, характеризующих каждую выделенную область, равно 64.

Далее формируется вектор признаков выделенной области $V[v_1, v_2, \dots, v_{64}]$, а на следующем этапе полученный вектор-признак сравнивается с эталонными векторами $V_3[v_{3,1}, v_{3,2}, \dots, v_{3,64}]$ – признаками из базы знаний, при этом вычисляются минимумы средних сумм квадратов отклонений [17]. Тем самым определяется тип новообразования, то есть осуществляется машинная диагностика болезни молочной железы.

7. Экспериментальные исследования

Исследования выполнялись в маммографическом кабинете НУЗ Отделенческой больницы на станции Муром, ОАО «РЖД» (г. Муром, Владимирская область). Кабинет этой больницы оснащён аналоговым маммографом «Маммодиагност МД-РА» (фирма Philips). На нём были получены маммограммы (около 500 штук) в виде рентгеновских снимков молочной железы на плёнке с размером 18×24 см.

Для данного вида рентген-исследований используется плёнка Kodak MIN-R 2000 с экранами KODAK MIN-R 2000 и KODAK MIN-R 2190. Характеристики такого сочетания экран/плёнки: средний градиент – 3,75, оптическая плотность – более 4D, сверхпрозрачная подложка голубого цвета (GF 0,19) и низкая зернистость [12]. Для оцифровки снимков использовался сканер «Epson Perfection V750 Photo» (фирма Epson), который имеет следующие основные характеристики: оптическая плотность – 4D, разрешение – 6400×9600 dpi [18]. Была сформирована выборка, в которую вошли 222 снимка с подтверждённым диагнозом из базы MIAS и 100 снимков (из 500), зарегистрированных в процессе обследования больных, диагнозы которых были подтверждены биопсией. Размер оцифрованных снимков равен 1024×1024 пикселей.

Выборка снимков под контролем рентгенолога была обработана рассмотренной выше технологией обнаружения новообразований. Для каждой области выделенного новообразования был сформирован вектор эталонных признаков и занесён в базу знаний.

Результаты распознавания новообразований на снимках использованной выборки с помощью комплексной системы, построенной на основе разработанной технологии, и врачом-рентгенологом были объединены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты диагностики-распознавания новообразований

Параметры		Количество снимков	Врач-рентгенолог		Система	
Снимки с «нормой»	Жировая инволюция	50	50	100%	50	100%
	ФКБ	105	105	100%	90	85,7%
	Аденоз	28	28	100%	22	78,5%
Снимки с кистами	Жировая инволюция	39	39	100%	35	89,7%
	ФКБ	24	11	45,8%	20	83%
	Аденоз	6	3	50%	4	67%
Снимки с фиброаденомами	Жировая инволюция	7	7	100%	6	85,7%
	ФКБ	9	6	66,7%	8	88,9%
	Аденоз	6	3	50%	5	83,3%
Снимки с РМЖ	Жировая инволюция	23	23	100%	22	95,6%
	ФКБ	20	8	40%	17	85%
	Аденоз	5	2	40%	4	80%

Заключение

В данной работе авторами была предложена технология диагностики новообразований трёх основных типов: киста, фиброаденома и рак молочной железы – по маммографическим снимкам.

Разработанная технология диагностики новообразований имеет ряд преимуществ перед другими аналогичными технологиями и САД-системами: низкая стоимость, высокая скорость постановки предварительного диагноза, выделение областей новообразований, не видимых глазу рентгенолога, возможность широкого использования в силу распространённости аналоговых маммографических комплексов в России, учёт типов тканей молочной железы, возможность обработки как аналоговых, так и цифровых маммограмм.

Результаты экспериментальных данных показали, что и система, и врач с высокой точностью выделяют все новообразования на фоне жировой инволюции, однако на фоне ФКБ и аденоза у врача возникают сложности с постановкой диагноза. Так, врач выявил не более 50% как доброкачественных (киста, фиброаденома), так и злокачественных новообразований на фоне ФКБ. Система же правильно выделяет более 80% новообразований. Таким образом, наличие мастопатии любого типа уменьшает точность постановки правильного диагноза, так как накладывает тень практически на всю область молочной железы, чем увеличивает вероятность пропуска рентгенологом новообразований на ранней стадии при скрининге. Указанный недостаток устраняет основанная на предложенной технологии комплексная сис-

тема, благодаря которой при обработке маммограмм, осложнённых мастопатией, убирается верхний слой ткани и становится видно новообразование, кроме того, учитывая возможность выделения контуров подозрительных областей, можно без труда определить, к какому виду они относятся (доброкачественные или злокачественные). С помощью этой системы удаётся выявить новообразования диаметром менее 7 мм, в то время как существующие САД-системы способны выявить новообразование лишь в стадии, не поддающейся лечению.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №13-07-00825.

Литература

1. **Садыков, С.С.** Технология выделения кисты на маммограмме / С.С. Садыков, Е.А. Захарова, Ю.А. Буланова // Вестник РГРТУ (Рязань). – 2013 – № 1. – С. 7-11.
2. **Садыков, С.С.** Диалоговая система анализа маммографических снимков / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012. – № 19. – С. 155-187.
3. База маммографических снимков MIAS // URL: <http://peipa.essex.ac.uk/pix/mias/> (Дата обращения – 18.09.2013).
4. **Ахметшин, А.М.** Сегментация низкоконтрастных изображений с применением иерархической модели Марковского случайного поля / А.М. Ахметшин, А.Е. Федоренко // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 414-421.
5. **Садыков, С.С.** Использование информационных технологий для выявления области кисты молочной железы на маммограммах / С.С. Садыков, Е.А. Захарова, Ю.А. Буланова // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2013. – № 3. – С. 15-20.
6. **Садыков, С.С.** Предварительная обработка маммографических снимков / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, В.С. Яшков. – Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2013. – Т. 1. – С. 340.
7. **Буланова, Ю.А.** Использование информационных технологий для локализации области рака молочной железы на маммограммах с преобладанием железистого компонента / Ю.А. Буланова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3(23). – С. 100-111.
8. **Sadykov, S.S.** Algorithm of localization of breast cancer in the background of mastopathy / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanova. – 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013), 2013. – V. 2. – P. 717-721.
9. **Корженкова, Г.П.** Комплексная рентгено-сонографическая диагностика заболеваний молочной железы / Г.П. Корженкова. – 1-е изд. – М.: ООО «Фирма СТРОМ», 2004. – 128 с.
10. **Садыков, С.С.** Алгоритм выделения области кисты на малоконтрастных маммограммах / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова // Информационные технологии. – 2013. – № 8. – С. 53-57.
11. **Lukac, R.B.** Plataniotis et al. Generalized adaptive vector sigma filters / R.B. Lukac, K.N. Smolka // International Conference on Multimedia Computing and Systems / International Conference on Multimedia and Expo – ICME (ICMCS), 2003. – V. 1. – P. 537-540.
12. **Садыков, С.С.** Исследование маркерного водораздела для выделения области рака молочной железы / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова, В.С. Яшков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2013. – № 23. – С. 56-64.
13. **Садыков, С.С.** Алгоритм текстурной сегментации для выявления областей кисты на маммограммах / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, А.Г. Романов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2013. – № 19. – С. 50-55.
14. **Sankar, R.P.** Parallel Architecture for Implementation of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization / Sankar P. Ravi, Rao B.K.N. Srinivasa // International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies (IJAEEST). – V. 10, Issue 1. – P. 047-051.
15. **Haralick, R.M.** Textural Features for Image Classification / R.M. Haralick, K. Shanmugan, I. Dinstein // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1973. – V. SMC-3, Issue 6. – P. 610-621.
16. **Гайдель, А.В.** Исследование текстурных признаков для диагностики заболеваний костной ткани по рентгеновским изображениям / А.В. Гайдель, С.С. Первушкин // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 1. – С. 113-119.
17. **Садыков, С.С.** Автоматизация обнаружения новообразований на маммографических снимках / С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова, В.В. Каряев. – Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2012. – Т. 2. – С. 376-379.
18. **Щербakov, С.** На стыке двух эпох: Планшетный сканер Epson Perfection V750 Pro / С. Щербakov // Foto&Video. – 2006. – № 7 – С. 60-65.

References

1. **Sadykov, S.S.** Technology selection cysts on mammogram / S.S. Sadykov, E.A. Zakharova, Y.A. Bulanava // Herald RGRU, Ryazan. 2013 – N 1. – P. 7-11. – (In Russian).
2. **Sadykov, S.S.** Interactive system for the analysis of mammographic images / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanava, E.A. Zakharova // Algorithms, Methods, and Data Processing Systems. – 2012 – N 19. – P. 155-187. – (In Russian).
3. Database of Mammograms MIAS // URL: <http://peipa.essex.ac.uk/pix/mias/> (date of access 18.09.2013)
4. **Akhmetshin, A.M.** Segmentation of low contrast images using a hierarchical model of Markov random fields / A.M. Akhmetshin, A.E. Fedorenko // Artificial Intelligence. – 2002. – N 4. – P. 414-421. – (In Russian).
5. **Sadykov, S.S.** Use of information technology for the detection of cysts of the breast on mammography / S.S. Sadykov, E.A. Zakharova, Y.A. Bulanava // Journal of Radiology. – 2013. – N 3. – P. 15-20. – (In Russian).
6. **Sadykov, S.S.** Preprocessing of mammographic images / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanava, V.S. Yashkov // Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality». – 2013. – V. 1. – P. 340. – (In Russian).
7. **Bulanava, Y.A.** The use of information technology for the localization of breast cancer on mammograms with a predominance of glandular component / Y.A. Bulanava // Caspian Magazine: Management and High Technology of 2013. – V. 3(23). – P. 100-111. – (In Russian).
8. **Sadykov, S.S.** Algorithm of localization of breast cancer in the background of mastopathy / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanava. – 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013), 2013. – V. 2. – P. 717-721.
9. **Korzenkova, G.P.** Integrated X-ray sonographic diagnosis of breast disease, 1st Edition / G.P. Korzenkova. – Moscow: "Firm STROM" Publisher, 2004 – 128 p. – (In Russian).
10. **Sadykov, S.S.** Allocation algorithm of cysts on the low-contrast mammography / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanava,

- E.A. Zakharova // Information Technology. – 2013. – N 8. – P. 53-57. – (In Russian).
11. **Lukac, R.B.** Plataniotis et al. Generalized adaptive vector sigma filters / R.B. Lukac, K.N. Smolka // International Conference on Multimedia Computing and Systems / International Conference on Multimedia and Expo – ICME (ICMCS), 2003. – V. 1. – P. 537-540.
 12. **Sadykov, S.S.** Investigation of the watershed for the isolation of breast cancer / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanova, E.A. Zakharova, V.S. Yashkov // Algorithms, Methods, and Data Processing System. – 2013. – V. 23. – P. 56-64. – (In Russian).
 13. **Sadykov, S.S.** Texture segmentation algorithm to identify areas of cysts on mammography / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanova, A.G. Romanov // Algorithms, Methods, and Data Processing Systems. – 2013. – V. 19. – P. 50-55. – (In Russian).
 14. **Sankar, R.P.** Parallel Architecture for Implementation of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization / Sankar P. Ravi, Rao B.K.N. Srinivasa // International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies (IAEST). – V. 10, Issue 1. – P. 047-051.
 15. **Haralick, R.M.** Textural Features for Image Classification / R.M. Haralick, K. Shanmugan, I. Dinstein // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1973. – V. SMC-3, Issue 6. – P. 610-621.
 16. **Gaydel, A.V.** Investigation of textural features for the diagnosis of bone diseases by X-ray images / A.V. Gaydel, S.S. Pervushkin // Computer Optics. – 2013. – V. 37(1). – P. 113-119. – (In Russian).
 17. **Sadykov, S.S.** Automating the detection of tumors on mammographic images / S.S. Sadykov, Y.A. Bulanova, E.A. Zakharova, V.V. Kariaev. – Proceedings of the International Symposium "Safety and quality," 2012. – V. 2. – P. 376-379. – (In Russian).
 18. **Shcherbakov, S.** At the junction of two eras: Flatbed Scanner Epson Perfection V750 Pro / S. Shcherbakov // Foto & Video. – 2006. – V. 7. – P. 60-65. – (In Russian).

COMPUTER DIAGNOSIS OF TUMORS IN MAMMOGRAMS

S.S. Sadykov¹, Yu.A. Bulanova¹, E.A. Zakharova²

¹ Murom Institute (branch) of the Federal State Budget Institution of Higher Professional Education "Vladimir State University Alexander G. and Nicholas G. Stoletovs",

² Nonstate Health Care Facility "Departmental Hospital at the station Murom Open Joint Stock Company "Russian Railways"

Abstract

This paper proposes a technology of computer diagnosis of tumors in mammary gland of three main types: cyst, fibroadenoma, and breast cancer. It is noted that the use of such technology in the health care setting reduces the chance of missing a tumor when viewing mammograms, are at an early stage of development, but also minimizes the subjectivity of diagnosis. Work on a set of technologies studied real mammograms from MIAS database with known diagnoses. The results of experiments that show the possibility of using the developed based on this technology integrated cabinet in mammography as for general research and well as for screening.

Key words: image processing, preprocessing, texture analysis, diagnosis, mammograms, tumor, cyst, fibroadenoma, breast cancer.

Сведения об авторах



Садыков Султан Сидыкович, 1940 года рождения, в 1966 году окончил Пензенский политехнический институт (ныне Пензенский государственный университет) по специальности «Вычислительная техника». Доктор технических наук с 1990 года, профессор кафедры информационных систем Муромского института Владимирского государственного университета. Является специалистом в области цифровой обработки изображений. В списке научных трудов Садыкова С.С. более 300 работ, в том числе 10 монографий

E-mail: sadykovss@yandex.ru.

Sultan Sidykovich Sadykov (b. 1940) graduated from Penza Polytechnic Institute (now Pezensky State University) in 1966, majoring in Computer Science. Doctor of Technical Sciences (1990), Professor of Information System department of Murom Institute (branch) Vladimir State University. He is a specialist in the field of digital image processing. S.S. Sadykov is co-author of more than 300 scientific papers and 10 monographs.



Буланова Юлия Анатольевна, 1989 года рождения, в 2011 году с отличием окончила Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по специальности «Информационные системы и технологии». В настоящее время аспирант кафедры информационных систем Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета. Область научных интересов: компьютерная обработка изображений, теория распознавания образов, математическое моделирование, программирование. Буланова Ю.А. имеет около 20 научных публикаций.

E-mail: yuliyabulanova@yandex.ru.

Yuliya Anatol'evna Bulanova (b. 1989) graduated with honors from Vladimir State University Alexander G. and Nicholas G. Stoletovs in 2011, majoring in Information System and

Technologies. Currently she is a postgraduate student of Information System department of Murom Institute (branch) Vladimir State University. Her research interests are computer image processing, pattern recognition, mathematical modeling and programing. Y.A. Bulanova has about 20 scientific publications.



Захарова Елена Алексеевна, 1977 года рождения, в 2000 году окончила Ивановскую государственную медицинскую академию по специальности «Лечебное дело». Работает врачом-рентгенологом с 2002 г., высшая квалификационная категория по специальности «Рентгенология» была присвоена в 2013 г. В настоящее время – врач-рентгенолог в НУЗ Отделенческой больницы на станции Муром ОАО «РЖД». Область научных интересов: лучевая диагностика, маммография, заболевания молочной железы, компьютерная обработка медицинских изображений. Захарова Е.А. является автором более 20 научных публикаций.

E-mail: elenazakharova1977@yandex.ru.

Elena Alekseevna Zakharova (b. 1977) graduated from Ivanovo State Medical Academy, majoring in Medicine. She works as a doctor-radiologist from 2002, highest qualification in Radiology was awarded in 2013. Currently she is doctor-radiologist of Nonstate Health Care Facility “Departmental Hospital at the station Murom Open Joint Stock Company «Russian Rail-ways». Research interests: radiology, mammography, breast disease, computer processing of medical images. E.A. Zakharova is author of more than 20 scientific papers.

Поступила в редакцию 19 ноября 2013 г.