

УДК 004.932.2+004.932.72'1

В.В. Доценко, Е.В. МеркуловаДонецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизированных систем управления**ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПО РЕНТГЕНОВСКИМ
СНИМКАМ***Аннотация*

Доценко В.В., Меркулова Е.В. Выбор метода определения патологических изменений молочной железы по рентгеновским снимкам. В статье описаны предполагаемые методы решения задачи нахождения микрокальцинатов на маммографических рентгеновских снимках с помощью вейвлет – преобразований и алгоритма нечеткой кластеризации, с последующим узелковым отбором.

Ключевые слова: маммография, микрокальцинаты, вейвлет – преобразование, кластер.

Постановка проблемы.

Важным направлением развития современной медицины в Украине является переход на новые цифровые технологии автоматизированной регистрации, хранения и обработки рентгеновских изображений различных органов человека. Это связано с регистрируемым ростом числа онкологических заболеваний и увеличением объема диагностической информации. Проводимая в Украине с 2011 года программа массового маммографического обследования женщин старших возрастных групп приводит к большой нагрузке на кабинеты маммографического обследования. В настоящее время женщины старше 40 лет проходят маммографию каждые 2 года, после 50 лет - каждый год.

Маммография - высокоэффективный и безопасный метод исследования, позволяющий выявить опухолевое образование ничтожно малых размеров, которое не проявляется клинически, то есть женщина не предъявляет никаких жалоб, образование таких размеров невозможно обнаружить при пальпации (ощупывании) ни самой женщиной, ни врачом [1].

Обзор аналогичных систем.

Ведущие ученые компаний, которые производят маммографические системы сканирования молочной железы, такие как Siemens, Philips, Kodak, Toshiba для усовершенствования своих технологических процессов постоянно разрабатывают новое программное обеспечение. Так, например, *syngo@MammoCAD* (Siemens) позволяет обрабатывать изображения с современной технологией распознавания образов и имеет высокую скорость обработки

результатов, но сохраняет результаты в особом формате архива PACS, что затрудняет их быстрое дальнейшее считывание. OPDIMA (Siemens) производит автоматическое вычисление координат патологии в режиме реального времени, и имеет тесную интеграцию с программами управления иглами биопсии, и не может работать отдельно от них, что дает ей более узкий круг применения. DirectView CR 850 (Kodak) обеспечивает расширенное изображение без потери деталей контраста и сводит к минимуму вероятность ошибок, путем предотвращения архивирования изображений без разрешения, однако имеет меньшую защищенность хранимых данных. Также нужно отметить, что все эти системы встроены в определенные маммографы и нет возможности их приобретения отдельно от оборудования [2].

Цель статьи – провести анализ методов обработки рентгеномаммографических снимков, с предварительным улучшением качества изображения, с целью выявления патологических изменений молочной железы, для более ранней диагностики рака.

Постановка задачи исследования.

Примерно в 75% случаев злокачественной опухоли молочной железы встречается местноинфильтрирующий узловой рак, то есть скirrosные опухоли, которые сопровождаются мелкоочечными обызвествлениями – микрокальцинатами (гидроксилфосфат кальция). Установлена совершенно четкая зависимость между числом, характером распределения микрокальцинатов и вероятностью рака. С увеличением числа микрокальцинатов на единицу площади вероятность рака возрастает. Так, при 15 микрокальцинатах на 1 см^2 вероятность рака достигает 87%. Выявление микрокальцинатов даже при отсутствии опухолевого узла весьма подозрительно на рак, поскольку микрокальцинаты нередко являются единственным признаком, позволяющим заподозрить рак молочной железы[3].

Задачей работы является выявление микрокальцинатов на рентгеновском снимке молочной железы, определение места их расположения и основных параметров, которые помогут более точно оценить патологическое состояние тканей и поспособствовать своевременному началу лечения, в случае его необходимости.

Решение задач и результаты исследования.

В качестве параметра определения патологических изменений молочной железы возьмем микрокальцинаты. На рентгеновских маммографических снимках микрокальцинаты выглядят как тонкие и яркие пятна, размером от 0,1 до 0,6 мм, и находятся в области плотной ткани молочных желез, что делает их практически невидимыми. Но так как микрокальцинаты характеризуются высокой плотностью, значит, их можно выявить с помощью высокочастотного фильтра. Но использование контурной маски или гомоморфной фильтрации может привести к изменению особенностей микрокальцинатов. Во избежание этого можно использовать двумерную вейвлет - трансформацию, которая не производит никакого воздействия на микрокальцинаты. Вейвлет анализ

позволяет декомпозировать изображение на нескольких уровнях разрешения. На рис. 1 приведена структура двумерного вейвлет – преобразования, показывающая как от уровня j получается уровень $j+1$, выделяя при этом четыре фрагмента изображения. S_j – исходное изображение, S_{j+1} – аппроксимированный фрагмент изображения, полученный путем применения к исходному изображению вертикального фильтра нижних частот, сопровождаемого горизонтальным фильтром нижних частот. S_{j+1}^{LH} – фрагмент изображения полученный путем применения к исходному изображению вертикального фильтра нижних частот, сопровождаемого горизонтальным фильтром высоких частот. S_{j+1}^{HL} – фрагмент изображения полученный путем применения к исходному изображению вертикального фильтра высоких частот, сопровождаемого горизонтальным фильтром низких частот. S_{j+1}^{HH} – фрагмент изображения, полученный путем последовательного наложения вертикального и горизонтального фильтров высоких частот [4]. Субдискретизация фактором $\downarrow 2$ (оператор повышающей дискретизации, который вставляет ноль в нечеткие компоненты) введена после каждого уровня фильтрования. Такая процедура повторяется для каждого уровня коэффициентов приближения, пока не будет получен фрагмент изображения S_{j+n} .

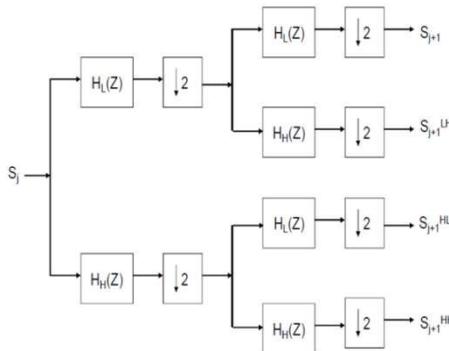


Рисунок 1 – Структура двумерного вейвлет - преобразования

Для наглядного представления работы вейвлет – преобразования была взята маммограмма размером 1024x1024 пикселей, приведенная на рис. 2(а). Изображение маммограммы анализировалось до 10 уровня, применяя двухэлементное вейвлет – преобразование.

Коэффициенты детализации вычислялись по формуле (1)

$$S_j^D(x, y) = \begin{cases} S_j^D(x, y), & \text{если } |S_j^D(x, y)| < T_j; \\ g * S_j^D(x, y), & \text{если } |S_j^D(x, y)| \geq T_j; \end{cases} \quad (1)$$

где, x и y - пространственные координаты, D представляет собой все горизонтальные, вертикальные и диагональные подгруппы. T_j - не отрицательный порог, полученный из стандартного отклонения

соответствующего фрагмента изображения. Наилучшее визуальное качество микрокальцинатов получено при коэффициенте усиления (g) равном 1.2. При восстановлении высоких частот изображения видимость микрокальцинатов на фоне других объектов усилилась.

Определение области интереса.

Первая стадия обнаружения микрокальцинатов – идентификация области интереса. Далее работа ведется с изображением маммограммы, улучшенным с помощью вейвлет – преобразований. Полученное детализированное изображение по вертикали и горизонтали, используется для идентификации области интереса, окружающей группы микрокальцинатов. Для чего используются статистические характеристики третьего и четвертого порядков, такие как эксцесс и асимметрия [5].

Для оценки асимметрии используется формула (2)

$$S_k = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \tilde{m})^3}{(N-1)\sigma^3}; \quad (2)$$

Эксцесс вычисляется по формуле (3)

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \tilde{m})^4}{(N-1)\sigma^4} - 3; \quad (3)$$

где x_i – входные данные, множество из N элементов, \tilde{m} – среднее значение множества x_i и σ – его среднеквадратическое отклонение. Эти статистические характеристики просчитываются для каждой области наложения размером 32x32. В итоге область, имеющая оценку асимметрии больше чем 0.2 и значение эксцесса больше чем 4, будет отмечена как область интереса.

Нечеткая кластеризация

Алгоритм нечеткой кластеризации используется, что бы отделить узловую структуру от области интереса. Кластеризация – это объединение объектов в группы (кластеры) на основе схожести признаков для объектов одной группы и отличий между группами. Для этого из входного набора данных $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ извлекаются кластеры со сферической симметрией с помощью кластера – прототипа с центрами $V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$, где c – число кластеров, сформированных во время обработки. У каждого конкретного значения x_k есть степень членства в i -том кластере. Конкретное значение x_k назначается в кластер, если целевая функция (4) минимальна.

$$J = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m D_{ik}^2 + \sum_{i=1}^c W_i \sum_{k=1}^n (1 - U_{ik})^m; \quad (4)$$

где D_{ik} – расстояние от конкретного значения x_k до центра кластера v_i и W_i – ширина i -го кластера. Экспоненциальный вес, определяющий нечеткость

кластеров $m \in (1, \infty)$, выбираем $m=2$ для лучшей сегментации. Микрокальцинаты проявляются в виде узловой структуры, поэтому в данном алгоритме целесообразней описывать их с помощью центра v_i и радиуса r_i . Геометрическое расстояние в функции кластеризации вычисляется по формуле (5).

$$D_{ik} = \left| \|x_k - v_i\| - r_i \right|; \quad (5)$$

Необходимое условие принадлежности объекта к кластеру приводит к формуле (6), используемой для минимизации характеристической функции [6].

$$U_{ik} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c (D_{ik}/W_i)^{\frac{2}{m-1}}}; \quad (6)$$

При этом для ускорения алгоритма используется выражение (7).

$$\|u^{j+1} - u^j\| < \varepsilon; \quad (7)$$

где ε - минимальное пороговое значение, которое используется, чтобы минимизировать число повторений.

Узловой отбор

Следующим шагом, после идентификации области интереса, должно быть обнаружение края улучшенного изображения. Края могут быть обнаружены, с помощью производной первого порядка. Производная первого порядка осуществлена оператором градиента (G_x & G_y). Края обнаруживаются, вычисляя градиент каждого пикселя по изображению в направлениях x и y . Градиент $f(x, y)$ высчитывается по формуле (8).

$$\nabla f = |G_x| + |G_y|; \quad (8)$$

При обнаружении пикселей края, расположенных рядом, записываем их в группы, и от групп, содержащих меньше, чем 5 пикселей отказываемся. Применяя алгоритм кластеризации несколько раз с $c=1$, $W_i=9$, получаем несколько узловых областей с радиусом, равным радиусу микрокальцинатов. Для того, что бы выделить действительные области микрокальцинатов необходимо посчитать следующие параметры: плотность кластера (9) и толщина кластеризации (10).

$$C_{di} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{ik}}{2\pi r_i}; \quad (9)$$

Числитель обозначает сумму функции принадлежности к кластеру на большинстве характерных точках ($|U_{ik}| > 1/2$), а знаменатель – круглую область микрокальцинатов.

$$RST_i = \frac{\sum_{k=1}^n U_{ik}^m D_{ik}^2}{r_i \sum_{k=1}^n U_{ik}^m}; \quad (10)$$

где r_i – радиус круглой области. Идентификация микрокальцината происходила при $C_{di} > 1.15$ и $RST_i < 0.2$. Результат поиска микрокальцинатов показан на рис. 2(б).

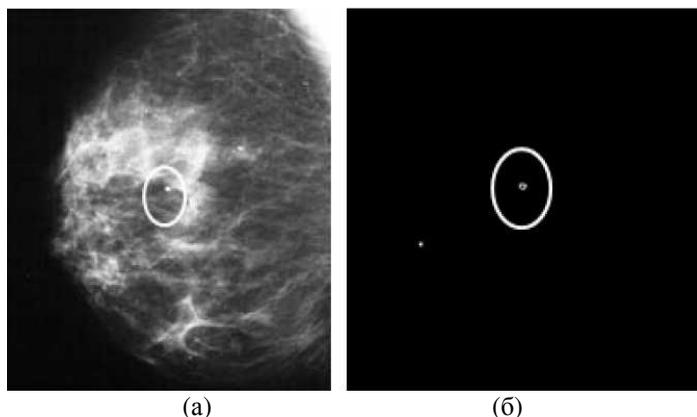


Рисунок 2 – Исходные данные и результаты: (а) исходное изображение маммограммы, (б) обнаруженные микрокальцинаты.

Выводы.

В данной статье рассмотрен набор и последовательность действий, с помощью которых предлагается решить задачу нахождения микрокальцинатов на маммографических снимках. Продемонстрирована результативность метода на примере изображения рентгеномаммограммы. В результате обработки изображения получили наглядное представление нескольких микрокальцинатов на снимке. При определении большого количества микрокальцинатов можно будет сделать вывод о возможном развитии рака молочной железы.

Список литературы

1. Терновой С.К. Лучевая маммография / А.Б. Абдураимов, С.К. Терновой – М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2007. – 127 с.
2. Маммографы » Медицинское оборудование/ Интернет – ресурс – Режим доступа: [www/ URL: http://ukrmedsys.com/rus/products/mammography/](http://ukrmedsys.com/rus/products/mammography/)
3. Лучевая диагностика. Заболевания молочных желез / Уве Фишер, Фридеман Баум, Сузанне Люфтнер-Нагель ; пер. с англ. ; под общ. ред. чл.-кор. РАМН, проф. Б.И.Долгушина. – М. : МЕДпресс-информ, 2009. – 256 с.
4. Воробьев В. П. Теория и практика вейвлет – преобразования/ В. П. Воробьев, В. Г. Грибунин - С.-Петербург: Военный университет связи, 1999, 183 с.
5. M.N. Gurcan, Y. Yardimci, A.E. Cetin and R.Ansari , “Automated Detection and Enhancement of Microcalcification on Digital Mammograms using Wavelet Transform Techniques”, Dept. of Radiology, Univ.of Chicago, 1997
6. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. -Винница: Континент-Прим, 2003, 198 с.