

Автоматизированная система классификации рентгенограмм молочной железы

Аннотация

Рассмотрены основные принципы организации и экспериментальные исследования автоматизированной системы классификации рентгенограмм молочной железы. Работа автоматизированной системы основана на сегментации рентгенограмм на прямоугольные области с последующей их деформацией на основе критериев однородности порогового типа. Классификация выделенных сегментов осуществляется нейросетевыми классификаторами, работающими в пространстве информативных признаков, построенном на основе мультиметодных алгоритмов. Программное обеспечение выполнено в среде MATLAB 2018b. Приведены результаты качества классификации разработанного программного продукта на контрольных выборках.

Введение

Успешное распознавание болезней молочной железы возможно лишь при совместной работе клиницистов, лучевых диагностов и морфологов. Ранние формы опухолей не определяются ни больной при самообследовании, ни врачом при осмотре и пальпации грудных желез. Стратегическое направление в диагностике рака молочной железы – обнаружение непальпируемых опухолей малой величины. Ведущий метод выявления доклинических форм рака – маммография [1].

При анализе маммограмм задача автоматизированной системы классификации изображений сводится к выделению области интереса, которая соответствует целевым указаниям врача-маммолога. Цель такой классификации – получить на экране компьютера сегмент, являющийся объектом интереса в данном исследовании. Этот объект должен быть локализован в области интереса, которую получают в результате классификации структурных элементов изображения посредством декомпозиции рентгенограммы на каскадные окна [2].

Материалы и методы

В основу декомпозиции маммограмм положен принцип самоорганизации, присущий сложной системе. Сущность самоорганизации состоит в том, что при удачном выборе критерия однородности каскадного окна процесс сегментации сложно-структурируемого изображения заканчивается декомпозицией изображения на однородные по текстуре или яркости сегменты априорно заданных классов. Характерной особеннос-

тью однородного сегмента является то, что внутри него не может быть выделен другой сегмент или другое каскадное окно на основе выбранного критерия однородности [2]-[5].

Системный подход позволяет сфокусировать внимание на объекте как на едином целом, а не на его отдельных составных частях независимо от выполняемых ими функций. Для реализации этого подхода на основе методов сегментации, предложенных в работах [2], [3], [6], в среде MATLAB 2018b разработана автоматизированная система классификации рентгенограмм молочной железы. При ее построении авторы придерживались принципа универсальности, который позволяет обеспечить гибкость любой системы для адаптации ее к определенным условиям. Модульный принцип позволяет разработчику модернизировать подпрограммы, производить их обновление и дополнять новыми функциями.

Структурная схема системы представлена на рис. 1.

Она представляет собой изображение функциональных блоков и их взаимодействие между собой. В ее состав входят 3 основных модуля: модуль формирования каскадных окон, модуль объединения каскадных окон и модуль классификации и принятия решения.

Перед началом работы автоматизированной системы пользователю необходимо загрузить маммографический снимок в память программы. Изображение может быть загружено как из базы данных маммограмм молочной железы, так и непосредственно с самого маммографа. После загрузки изображения в память программы оно отобразится на главном экране программы. Далее пользователю необходимо вве-

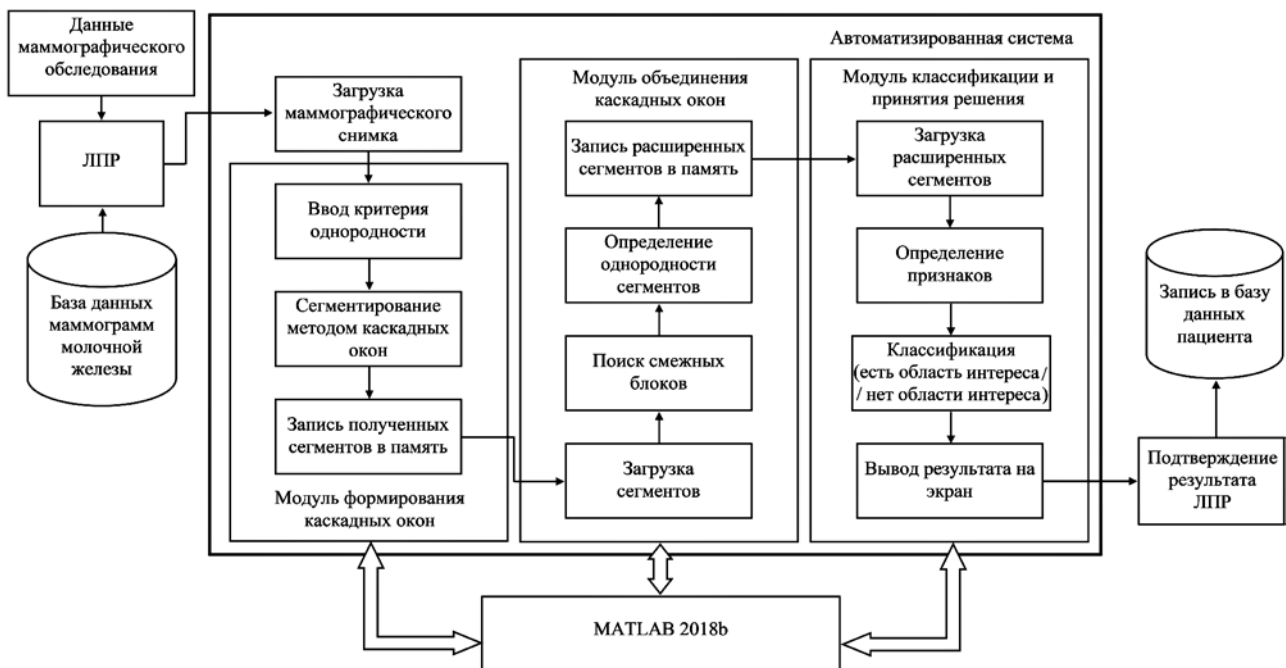


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы классификации маммографических изображений

сти критерий однородности для управления блочной структурой рентгенограммы.

Модуль формирования каскадных окон обеспечивает декомпозицию растрового изображения на некоторое количество уровней. Каждый уровень содержит множество потомков – изображений [2]. После декомпозиции полученные сегменты записываются в память автоматизированной системы.

Модуль объединения каскадных окон осуществляет загрузку полученных сегментов в предыдущем модуле, далее осуществляется поиск смежных областей и вычисляется однородность каждого сегмента. Если однородность смежных сегментов существенно не отличается, то принимается решение объединения сегментов и в память записываются объединенные сегменты.

Модуль классификации и принятия решения выполняет функции определения вектора информативных признаков. Формирование пространства информативных признаков и классификаторов в автоматизированной системе основано на методах и алгоритмах, описанных в [7]-[10]. Модуль выполняет классификацию сегмента, и если принято решение о том, что блок содержит патологические морфологические образования, то программа выполняет процедуру выделения сегмента отдельным цветом, т. е. все пиксели с координатами, попадающими внутрь блока W_n , заштриховываются, а сам сегмент выделяется цветом. Далее на экран выводится полученный результат. Врач анализирует результат и либо подтверждает его, либо отвергает.

После подтверждения результата врачом программа производит его запись в базу данных пациентов для дальнейшей обработки. В дальнейшем в ходе накопления файлов с результатами распознавания и определения патологии возможно сформировать электронную базу данных.

MATLAB 2018b как среда разработки автоматизированной системы используется для создания и введения в ее состав новых программных модулей и внесения изменений в программный код после выявления случаев сбоя в работе. Автоматизированная система является автономным программным продуктом и не требует внешних программных оболочек.

В составе интерфейса автоматизированной системы обработки и анализа маммографических изображений используются следующие элементы:

- элемент «Push button» – используется для генерации действия при нажатии кнопки мыши;
- элемент «Edit text» – представляет собой компонент, позволяющий пользователю в редактируемом поле вводить или изменять текстовые строки;
- элемент «Static text» – применяется для управления отображением строк текста;
- элемент «Axes» – позволяет в рабочей области интерфейса отображать графические изображения (графики, фото, рисунки и т. д.);
- элемент «Toolbar» – представляет собой панель инструментов, на которой содержатся кнопки и переключатели.

Программа состоит из двух рабочих областей: панели инструментов и области отображения изображения, которое расположено ниже панели инструментов. Для запуска автоматизированной системы используется файл «MaRec.exe». Перед началом работы пользователю необходимо загрузить изображение маммограммы, нажав на кнопку «Открыть файл», после чего откроется вспомогательное окно с выбором нужного файла, выбранное изображение загрузится в память программы и визуализируется в области отображения изображения.

После загрузки изображения на панели инструментов становятся активны элементы редактирования изображения. Пользователь имеет в своем распоряжении возможность изменения масштаба изображения. На панели управления имеется дополнительная кнопка-переключатель «Измерить расстояние», позволяющая измерять расстояние от одной области до другой (рис. 2). Для просмотра информации о координатах требуемого пикселя и его яркостных параметрах на панели управления используется кнопка-переключатель «Информация о пикселе».

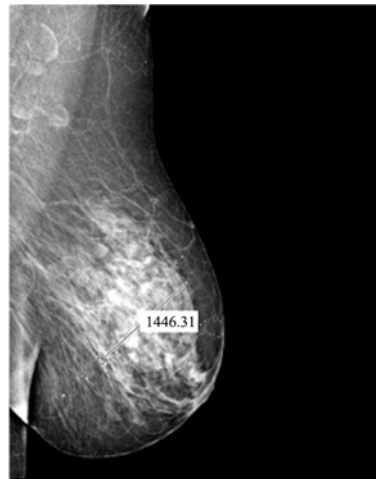


Рис. 2. Измерение расстояния на изображении

Также имеется возможность просмотра информации о файле, для чего необходимо нажать на кнопку «Информация об изображении» и далее пользователю откроется окно с подробными данными о нем.

Для начала процесса сегментирования необходимо нажать на кнопку «Сегментирование». На экране откроется дополнительное окно, в котором пользователю необходимо ввести пороговое значение для управления блочной структурой рентгенограммы. Задача алгоритма – сегментировать рентгенограмму на однородные блоки, однородность которых определяется введенным числовым значением порога. После ввода числового значения порога необходимо нажать на кнопку «Сегментация».

После сегментации автоматически выполняется алгоритм объединения каскадных окон, в ходе которого после разбиения на множество сегментов происходит укрупнение блоков с выделением области интереса. При этом на экран пользователя выводится результат алгоритма сегментирования изображения методом каскадных окон.

После выполнения процесса сегментирования и укрупнения блоков программа определяет компоненты вектора информативных признаков для каждого блока и затем классифицирует их на наличие морфологических новообразований. Если принимается решение о наличии патологии, то программа инициализирует процесс выделения данного блока цветом, а все пиксели с координатами, попадающими внутрь сегмента, заштриховываются. Далее на экран выводится полученный результат. Врач анализирует результат и либо подтверждает его, либо отвергает.

Результаты

Для проверки работоспособности автоматизированной системы было использовано 50 изображений маммограмм молочной железы из базы данных MIAS: из них 25 изображений в состоянии нормы и 25 изображений с морфологическими новообразованиями. В указанной базе данных изображения уже классифицированы врачом-маммологом, поэтому задача автоматизированной системы – выполнить обработку загруженного изображения и осуществить функцию классификации по одному из критериев: «нет области интереса» – соответствует блокам, в которые не попали морфологические образования, связанные с онкологическими заболеваниями; «есть область интереса» – соответствует блокам, у которых имеются морфологические образования, вызванные патологическими процессами. Автоматизированная система должна подтвердить области с морфологическими образованиями. На рис. 3 и 4 представлены результаты сегментирования двух выборочных маммографических изображений, которые были классифицированы по критерию «нет области интереса» и «есть область интереса».

В табл. 1 указано количество положительных и отрицательных результатов классификации по одному из критериев. При этом получаем диагностическую чувствительность ДЧ = 84 %, диагностическую специфичность ДС = 96 %, диагностическую эффективность ДЭ = 90 %.

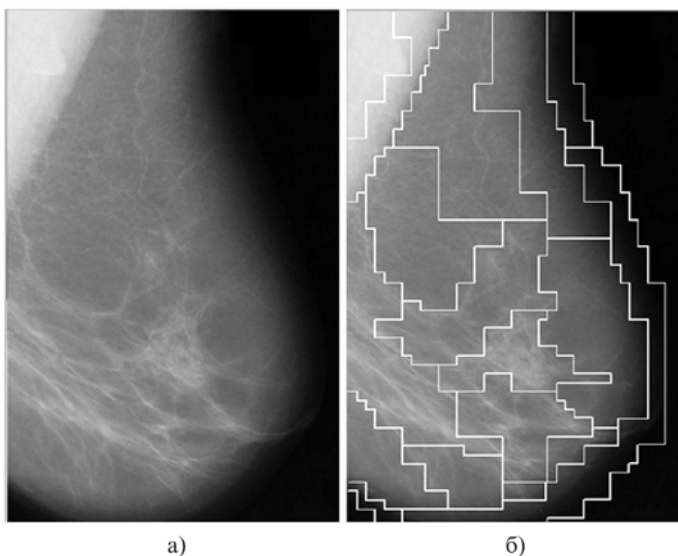


Рис. 3. Результат сегментирования изображения по критерию «нет области интереса»: а) исходное изображение; б) обработанное изображение

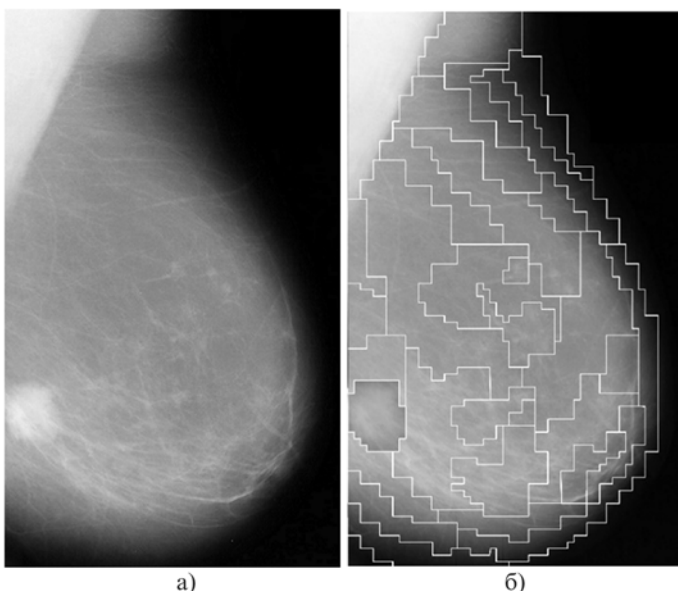


Рис. 4. Результата сегментирования изображение по критерию «есть область интереса»: а) исходное изображение; б) обработанное изображение

Таблица 1

Результаты контрольных испытаний автоматизированной системы

Состояние	Результат наблюдений		Всего
	положительный	отрицательный	
Есть область интереса	21	4	25
Нет области интереса	1	24	25
Всего	22	28	50

Выводы

В результате апробации автоматизированной системы обработки и анализа маммографических изображений на 50 маммограммах установлено, что программное обеспечение на основе метода каскадных окон позволяет выполнять возложенные на него функции. Автоматизированная система выполняет обработку маммографического снимка и принимает

решение о принадлежности его к определенному классу: норма или с патологией.

Список литературы:

1. Boyd H.F., Gio Y., Martin L.J. et. al. Mammographic density and the risk and detection of breast cancer // Engl. J. Med. 2007. Vol. 356. PP. 227-229.
2. Филист С.А., Дабагов А.Р., Томакова Р.А. и др. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. № 9 (30). С. 49-61.
3. Филист С.А., Томакова Р.А., Шаталова О.В., Кузьмин А.А., Али Кассим К.Д. Метод классификации сложноструктурируемых изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 57-65.
4. Филист С.А., Дюдин М.В., Зуев И.В. и др. Автоматические классификаторы сложноструктурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой (СОИУ). 2015. Вып. 1. С. 130-140.
5. Бельх В.С., Ефремов М.А., Филист С.А. Разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 2 (19). С. 12-24.
6. Филист С.А., Кудрявцев П.С., Кузьмин А.А. Развитие методологии бустинга для классификации флюорограмм грудной клетки // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 10-15.
7. Дюдин М.В., Филист С.А., Кудрявцев П.С. Способ выделения и классификации контуров легких на изображениях флюорограмм грудной клетки // Научные технологии. 2014. Т. 15. № 12. С. 25-30.
8. Филист С.А., Томакова Р.А., Руденко В.В. Нечеткая сетевая модель морфологического оператора для формирования границ сегментов // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. № 1 (96). Вып. 17/1. С. 188-195.
9. Томакова Р.А. Проектирование гибридной нейронной сети для анализа сложноструктурированных медицинских изображений // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2011. Т. 10. № 4. С. 916-923.
10. Филист С.А., Али Кабус К.Д., Кузьмин А.А. Формирование признакового пространства для задач классификации сложноструктурируемых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 4 (67). С. 56-68.

*Анатолий Рудольфович Дабагов,
канд. техн. наук, президент,
АО «Медицинские технологии Лтд»,
г. Москва,*

*Вячеслав Алексеевич Горбунов,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
кафедра информатики и информационных технологий,
ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»,
г. Вологда,*

*Сергей Алексеевич Филист,
д-р техн. наук, профессор,*

*Ирина Алексеевна Малютина,
аспирант,*

*Дмитрий Сергеевич Кондрашов,
студент,*

*кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,
г. Курск, e-mail: sfilist@gmail.com*