

**Р.А. Томакова¹, И.В. Дураков², Е.Г. Емельянов¹, Д.С. Забанов¹,
А.Е. Ханьков¹**

¹ Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия, ² Курская больница скорой медицинской помощи, Курск, Россия

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕКМЕНТАЦИИ ФЛЮОРОГРАММ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГИСТОГРАММЫ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СКОЛЬЗЯЩЕМ ОКНЕ

Повышение диагностической эффективности легочных заболеваний в настоящее время является весьма актуальной задачей. Для построения автоматизированных систем распознавания и классификации рентгенологических изображений необходимо выполнить процесс локализации патологических образований на флюорограммах грудной клетки. Правильный выбор способа сегментации исследуемых сегментов рентгенологических изображений обеспечивает качество сегментации и способствует повышению точности принимаемых диагностических решений. В статье приведена структурная схема устройства, реализующая способ автоматической сегментации флюорограмм грудной клетки. Для построения алгоритмов обнаружения патологических образований применяется построение гистограммы яркости изображения в выделенном окне. Определяются графические примитивы, аппроксимирующие гистограмму яркости флюорограммы в окне анализа оптимального размера. На основе полученной информации формируется вектор информативных признаков. Решение о принадлежности вектора информативных признаков к одному из выделяемых классов осуществляют посредством обучаемого двухальтернативного классификатора. По мере продвижения окна анализа по изображению осуществляется окончательное формирование бинарного изображения.

Ключевые слова: сегментация изображений, гистограмма яркости изображения, информативные признаки.

Для цитирования: Метод автоматической сегментации флюорограмм грудной клетки на основе представления гистограммы яркости изображения в скользящем окне / Томакова Р.А., Дураков И.В., Емельянов Е.Г., Забанов Д.С., Ханьков А.Е. // Радиопромышленность. – 2016. – № 4. – С. 50–56.

**R. A. Tomakova¹, I. V. Durakov², E. G. Emelyanov¹, D. S. Zabanov¹,
A. E. Hanykov¹**

¹ South-West state university, Kursk, Russia, ² Emergency hospital, Kursk, Russia

METHOD OF AUTOMATIC SEGMENTATION OF CHEST X-RAY TESTS FINDINGS ON THE BASIS OF PRESENTATION OF IMAGE BRIGHTNESS IN A SLIDING WINDOW

Improvement of diagnostic efficiency of pulmonary diseases is currently a very urgent task. For building of automated systems of recognition and classification of radiographic images it is required to perform the process of localization of pathological formations on photofluorograms of chest. The correct choice of the right method for segmentation of examined radiographic images ensures high quality and improves the accuracy of diagnostic decisions to be taken. The article contains a structural diagram of the device wherein the method of automatic segmenting of chest photofluorogram is

implemented. To build algorithms for detection of pathological formations there has been used a histogram of image brightness created in a dedicated window. Graphic primitives are determined to approximate the fluorogram brightness histogram in the optimum size window for the analysis. Based on the information obtained the vector or informative features is formed. A decision to refer the vector of informative features to a particular class is effected by a trained double alternative classifier. When the analysis window is moving across the image the binary image is getting finally formed.

Keywords: *image segmentation, a histogram of image brightness, informative features.*

For citation: Tomakova R. A., Durakov I. V., Emelyanov E. G., Zabanov D. S., Hanykov A. E. Method of automatic segmentation of chest x-ray tests findings on the basis of presentation of image brightness in a sliding window. Radiopromyshlennost, 2016, no. 4, pp. 50–56. (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2016-4-50-56

В настоящее время все больший интерес представляют медицинские диагностические системы, позволяющие с высокой диагностической чувствительностью за небольшой промежуток времени помочь врачу принять решение по диагностике и/или терапии заболевания. К таким медицинским системам, в частности, относятся системы рентгенологической диагностики, которые остаются одними из самых доступных методов скрининговой диагностики. Однако известно, что при рентгенологическом обследовании вероятность обнаружения заболевания туберкулезом составляет порядка 0,9, в то же время вероятность принять здорового человека за больного – более 0,91. Поэтому задача повышения диагностической эффективности легочных заболеваний в настоящее время остается весьма актуальной.

Современные медицинские технологии предъявляют высокие требования к локализации патологических образований на рентгенологических изображениях.

Для классификации патологических образований на рентгеновских снимках необходимо выделить поля легких, а затем разбить их на сегменты. Алгоритмы автоматического выделения полей легких описаны в [1, 2]. Выделенные поля легких делятся на установленные отделы с указанием определенного сегмента легкого.

При этом задача выделения морфологических структур с патологическими образованиями на растровых полутоновых изображениях флюорограмм грудной клетки сводится к задаче разделения исходного изображения на части (сегменты), различающиеся по своему семантическому содержанию [3, 4]. Важным аспектом является правильный выбор способа сегментации, поскольку от качества сегментации зависит качество принимаемых диагностических решений [5].

Известные методы сегментации изображений, например метод наращивания областей, предполагает для объединения в однородные области использовать группировку пикселей изображения с одинаковыми или близкими уровнями яркости, которые являются соседями в смысле четырехсвязности

[6]. Затем элементарные области, имеющие общие границы, сливаются, согласно различным эвристическим правилам. Недостатком этого способа является необходимость подбора яркостных порогов в интерактивном режиме, что не позволяет применять метод для автоматизированной сегментации.

При проведении процедуры выращивания и слияний областей часто используется текстурная информация [7]. Однако применение текстурной информации ограничивается тем, что для анализа текстуры, как правило, уже требуется иметь область размером более одного пикселя. Это условие необходимо для вычисления различных признаков, основанных на статистических данных. Добавление единственного пикселя к области приводит к неоднозначности принимаемых решений.

Технической задачей предлагаемого способа является повышение точности выделения границ сегментов полутоновых изображений флюорограмм грудной клетки больных пневмонией, то есть большее соответствие выделяемых сегментов субъективному восприятию изображения врачом. Это позволяет повысить качество принимаемых диагностических решений, а также способствует повышению степени автоматизации процесса анализа и классификации флюорограмм грудной клетки [8].

Поставленная задача достигается тем, что в качестве основы построения алгоритмов обнаружения патологических образований, вызванных заболеванием пневмония, целесообразно применять построение гистограммы яркости изображения в выделенном окне. Для оценки работоспособности и эффективности предлагаемого метода определяют графические примитивы гистограммы яркости, аппроксимирующие гистограмму яркости флюорограммы в окне анализа. При этом размер выделенного окна полагают равным 1% от размера исходного изображения флюорограммы грудной клетки. На основе полученной информации формируется вектор информативных признаков. Решение о принадлежности вектора информативных признаков одному из выделяемых классов осуществляют посредством обучаемого двухальтернативного классификатора, настроенного на классификацию

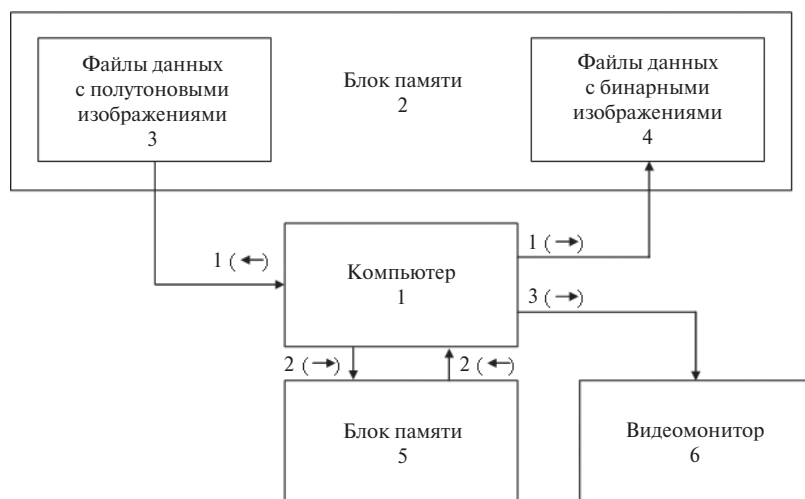


Рисунок 1. Структурная схема устройства, реализующая способ автоматической сегментации флюорограмм грудной клетки

гистограмм яркости, включающих морфологические образования, вызванные пневмонией. После вынесения решения о принадлежности анализируемого пикселя одному из классов реализуется процесс бинаризации пикселя флюорограммы грудной клетки, соответствующего окну, в котором определялась гистограмма яркости. По мере продвижения окна анализа по изображению осуществляется окончательное формирование бинарного изображения.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства, реализующая разработанный метод автоматической сегментации флюорограмм грудной клетки.

Устройство состоит из компьютера 1, видеомонитора 6 и двух блоков памяти 2 и 5. При этом блок памяти данных 2, в свою очередь, содержит блок памяти 3, предназначенный для хранения файлов с полутоновыми изображениями флюорограмм, который подключен к первому входу компьютера 1. Блок памяти 4, содержащийся в блоке памяти 2, специализирован для хранения файлов данных с сегментированными изображениями (бинарными изображениями). Этот блок подключен к первому выходу компьютера 1. Блок памяти 5 определен для хранения программного обеспечения по сегментации полутоновых изображений флюорограмм и подключен ко второму входу и второму выходу компьютера 1. Видеомонитор 6 имеет подключение к третьему выходу компьютера 1.

Разработанный способ автоматической сегментации флюорограмм грудной клетки реализуется согласно схеме алгоритма, представленной на рис. 2.

В блоке 1 выполняется ввод в компьютер пикселей исходного растрового полутонового изображения флюорограммы грудной клетки, размер которого по вертикали N_1 , а по горизонтали

N_2 . В блоке 2 осуществляется разбиение исходного изображения на ячейки, например, размером $0,01 \cdot N_1 \times 0,01 \cdot N_2$, в которых определяются гистограммы яркости. Блоки 3 и 4 формируют сканирование изображения по вертикали и по горизонтали соответственно. В блоке 5 реализуется вычисление гистограмм фрагментов изображения, попадающих в окно. В блоке 6 формируется вектор информативных признаков, предназначенный для классификации пикселя, являющегося центром окна, в пределах которого вычислялась гистограмма. Вектор информативных признаков определяется на основе представления гистограммы яркости в окне графическими примитивами, которые могут быть реализованы, например, на основе преобразования Хафа, сплайн-интерполяцией, Фурье – дескрипторами, цепным кодом, аппроксимацией прямоугольниками.

В блоке 7 реализуется классификация вектора информативных признаков. В рамках данной работы классификатор построен на основе нейронных сетей прямого распространения. В качестве основного принципа обучения классификатора в работе реализован алгоритм обратного распространения ошибки [9]. При этом следует подчеркнуть, что отличительной особенностью алгоритма настройки нейронной сети является то, что сначала нейронная сеть настраивается на тестовых образцах, моделирующих пневмонию. Затем, на втором этапе настройки с реальными образцами фрагментов флюорограммы с пневмонией при необходимости осуществляется коррекция весовых коэффициентов нейронной сети.

На рис. 3 представлена схема алгоритма, позволяющая сформировать вектор информативных признаков на основе аппроксимации гистограммы яркости окна прямоугольной формы одинаковой ширины. В блоке 1 загружается гистограмма текущего

окна. В блоке 2 определяется максимальное значение гистограммы. В блоке 3 вычисляется ее минимальное значение, при этом используется пороговая фильтрация на уровне 10% от максимального значения. В блоке 4 формируется динамический диапазон гистограммы после пороговой фильтрации. В блоке 5 устанавливают ширину прямоугольников, аппроксимирующих гистограмму. В блоке 6 определяют минимальную яркость пикселя в текущем окне. В блоке 7 вычисляют значение i -го признака. В блоках 8–10 осуществляют процедуры для подготовки к вычислению следующего признака.

Изображения, предназначенные для создания тестовых образцов при моделировании пневмонии, и соответствующие гистограммы приведены

на рис. 4. Исходные тестовые изображения формировались в виде фрагментов флюорограммы грудной клетки (рис. 4а). Для моделирования фрагментов изображения с пневмонией фрагменты изображения без патологии подвергались низкочастотной фильтрации с помощью двумерного преобразования Фурье. На рис. 4б представлены модель изображения с патологией и его гистограмма.

Анализ аналогичных гистограмм различных рентгеновских снимков показал, что при отсутствии патологических изменений в выделенном окне гистограммы имеют многомодальную форму. При наличии низкочастотной фильтрации исчезает модальность гистограммы яркости, при этом гистограмма приобретает форму, близкую к треугольной.

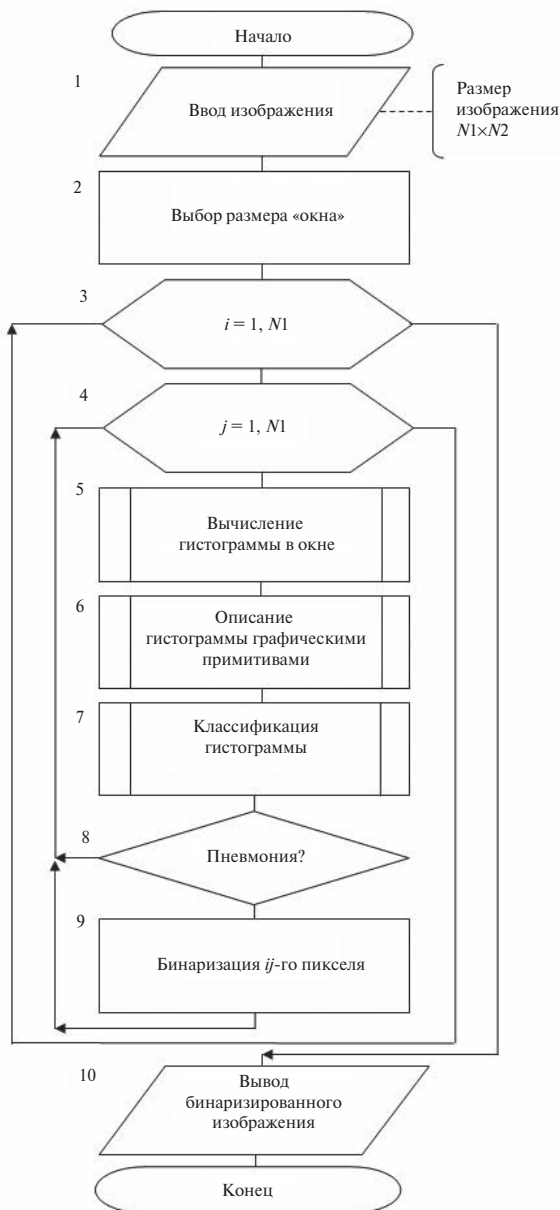


Рисунок 2. Схема алгоритма, реализующая способ автоматической сегментации флюорограмм грудной клетки

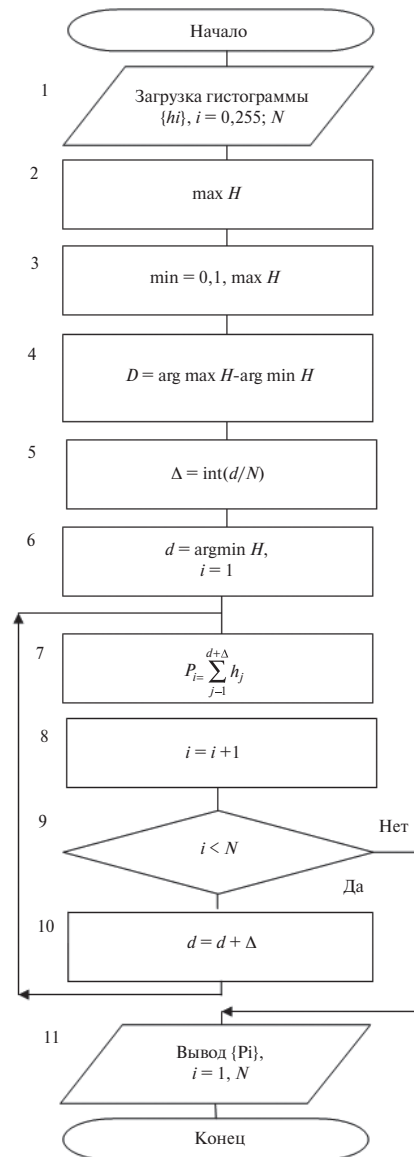
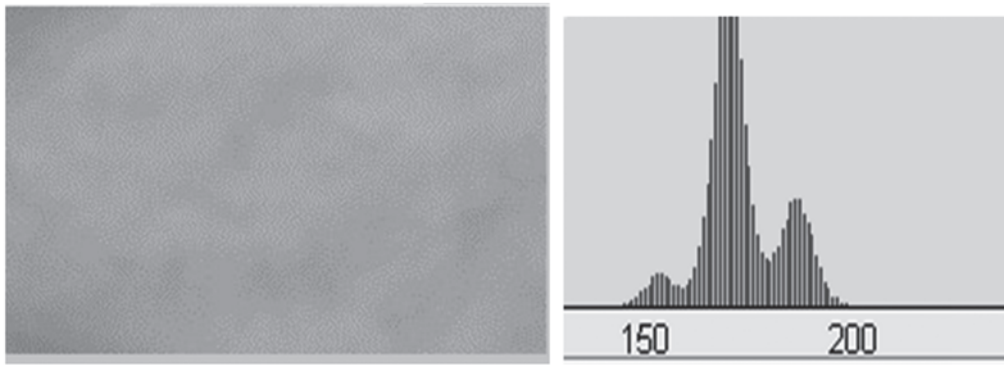
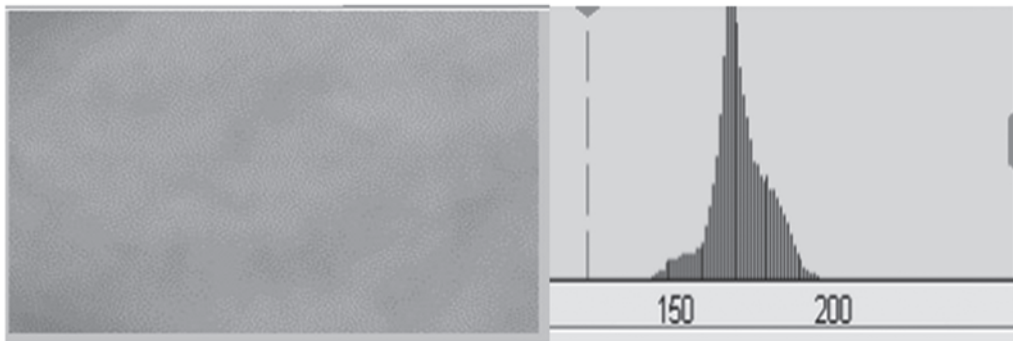


Рисунок 3. Схема алгоритма для формирования вектора информативных признаков

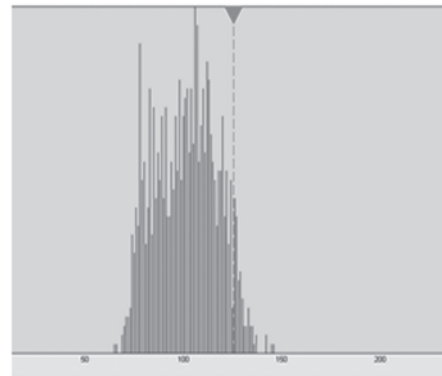


а)

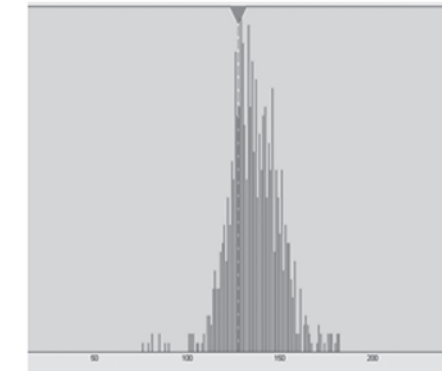


б)

Рисунок 4. Окна анализа и гистограммы яркости флюорограммы: а – окно без патологии; б – модель окна с патологией, полученная в результате частотной фильтрации окна без патологии



а)



б)

Рисунок 5. Окна анализа и гистограммы яркости флюорограммы: а – окно изображения без патологии; б – окно изображения при наличии пневмонии

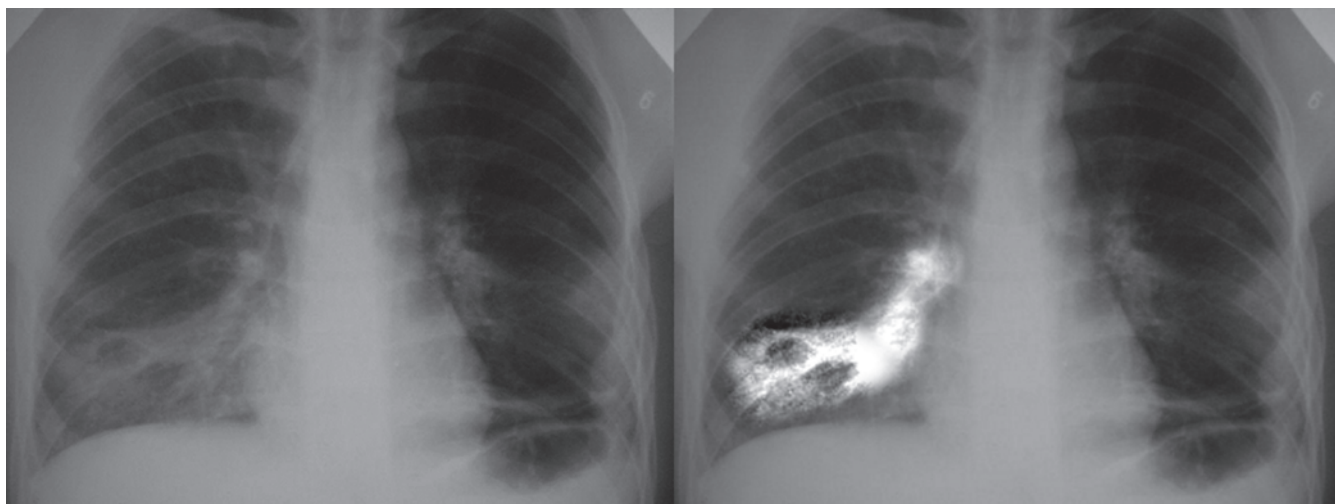


Рисунок 6. Флюорограммы легких с пневмонией: слева – до обработки; справа – после обработки предложенным способом

После настройки классификатора на тестовых моделях (рис. 4) осуществлялась тестовая проверка классификатора на реальных изображениях с пневмонией. Реальные фрагменты флюорограммы больного пневмонией с патологическими образованиями и без них с соответствующими гистограммами представлены на рис. 5.

Из таких фрагментов изображений создается контрольная выборка для тестирования классификатора изображения. Если погрешности, получаемые на контрольной выборке (рис. 5), удовлетворительны, то второй этап настройки нейронной сети не производится. В противном случае выполняется коррекция весов нейронной сети на основании метода обратного распространения ошибки с использованием контрольной выборки в качестве обучающей [9].

Реальные флюорограммы с пневмонией до обработки и после обработки разработанным способом приведены на рис. 6.

Анализ полученных экспериментальных результатов при обработке изображений флюорограмм легких по диагностике заболевания пневмония свидетельствует об эффективности предложенного способа.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00164 а.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research in the framework of a research project № 16-07-00164 а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюдин М. В., Жилин В. В., Кудрявцев П. С. и др. Способ выделения контура изображения легких на рентгеновском снимке грудной клетки // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. № 4. С. 107–114.

2. Томакова Р. А., Дегтярев С. В., Емельянов Е. Г. Метод контурного анализа изображения легких на рентгеновском снимке грудной клетки // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 11(11). С. 93–101.
3. Дюдин М. В., Филист С. А., Кудрявцев П. С. Способ выделения и классификации контуров легких на изображениях флюорограмм грудной клетки // Научно-технические технологии. 2014. Т. 15. № 12. С. 25–30.
4. Антонов О. С., Хабахпасhev А. Г., Шехтман Л. И. и др. Автоматизация разделения рентгенограмм грудной клетки на «норму» и «патологию» // Вестник рентгенологии и радиологии. 1992. № 1. С. 24–31.
5. Томакова Р. А. Гибридные методы и алгоритмы для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.17. Белгород, 2013. 42 с.
6. Якушенко Ю. Г. Техническое зрение роботов. М.: Машиностроение, 1990. С. 49–51.
7. Patent US2009080773 (A1), IPC7 G06K 9/34. Image segmentation using dynamic color gradient threshold, texture, and multimodal-merging [Text] / Shaw M. [US]; Bhaskar R. [US]; Ugarriza L. G. [US]; Saber E. [US]; Amuso V. [US].
8. Безруков Н. С. и др. Автоматизированная система диагностики заболеваний легких // Проблемы управления. 2007. № 5. С. 75–80.
9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.

REFERENCES

1. Dyudin M. V., Zhilin V. V., Kudryavtsev P. S. and etc. A method for selection of the chest image outlined on the X-ray photograph of chest. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie*, 2014, no. 4, pp. 107–114. (In Russian).
2. Tomakova R. A., Degtyarev S. V., Emelyanov E. G. Method of contour image analysis on X-ray photograph of chest. *Voprosy radioelektroniki*, 2015, no. 11 (11), pp. 93–101. (In Russian).
3. Dyudin M. V., Filist S. A., Kudryavtsev P. S. Method of selection and classification of lungs contours on the images of chest photofluorograms. *Nauchno-tekhnologicheskie tekhnologii*, 2014, Vol. 15, no. 12, pp. 25–30. (In Russian).
4. Antonov O. S., Khabakhpashev A. G., Shekhtman L. I. and etc. Automation of division of chest X-ray photos into «normal» and «pathological» ones. *Vestnik rentgenologii i radiologii*, 1992, no. 1, pp. 24–31. (In Russian).
5. Tomakova R. A. *Gibridnye metody i algoritmy dlya intellektual'nykh sistem klassifikatsii slozhnostrukturiruemyykh izobrazheniy* [Hybrid methods and algorithms for intelligent systems of classification of complex structured images]: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.13.17. Belgorod, 2013, 42 p. (In Russian).
6. Yakushenkov Yu. G. *Tekhnicheskoe zrenie robotov* [Machine vision of robots]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, pp. 49–51. (In Russian).
7. Patent US2009080773 (A1), IPC7 G06K 9/34. Image segmentation using dynamic color gradient threshold, texture, and multimodal-merging [Text] / Shaw M. [US]; Bhaskar R. [US]; Ugarriza L. G. [US]; Saber E. [US]; Amuso V. [US]. (In Russian).
8. Bezrukov N. S. and etc. Automated system for diagnostics of lung diseases. *Problemy upravleniya*, 2007, no. 5, pp. 75–80. (In Russian).
9. Osovskiy S. *Neironnyye seti dlya obrabotki informatsii* [Neural networks for data processing]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2002, 344 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Томакова Римма Александровна, д.т.н., профессор, Юго-Западный государственный университет, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, тел.: 8 (920) 267-39-33, e-mail: rtomakova@mail.ru.

Дураков Игорь Владимирович, врач-рентгенолог, Курская больница скорой медицинской помощи, 305040, Курск, ул. Пирогова, д. 12, тел.: 8 (920) 267-82-03, e-mail: sfilist@gmail.com.

Емельянов Евгений Геннадьевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, тел.: 8 (951) 317-80-98, e-mail: davidb 46@ rambler.ru.

Забанов Денис Станиславович, магистрант, Юго-Западный государственный университет, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, тел.: 8 (951) 307-18-52, e-mail: dzabanov@mail.ru.

Ханыков Алексей Евгеньевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94, тел. 8 (910) 275-22-57, e-mail: akhanykov@gmail.com.

AUTHORS

Tomakova Rimma, Doctor of Technical Sciences, Professor, South-West State University, 94, 50 let Oktyabrya st., Kursk, 305040, tel.: +7 (920) 267-39-33, e-mail: rtomakova@mail.ru.

Durakov Igor, doctor-radiologist, Hospital Ambulance, 12, Pirogova st., Kursk, 305040, tel.: +7 (920) 267-82-03, e-mail: sfilist@gmail.com.

Emelyanov Evgeniy, graduate student, South-West State University, 94, 50 let Oktyabrya st., Kursk, 305040, tel.: +7 (951) 317-80-98, e-mail: davidb 46@ rambler.ru.

Zabanov Denis, master, South-West State University, 94, 50 let Oktyabrya st., Kursk, 305040, tel.: +7 (951) 307-18-52, e-mail: dzabanov@mail.ru.

Hanykov Aleksey, graduate student, South-West State University, 94, 50 let Oktyabrya st., Kursk, 305040, tel.: +7 (910) 275-22-57, e-mail: akhanykov@gmail.com.