

УДК 004.93

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ РЕАЛЬНЫХ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИХ БЕЗРАЗМЕРНЫХ КОНТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ

Садыков С.С., Кульков Я.Ю.

Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», Муром, e-mail: y_mail@mail.ru

Статья посвящена экспериментальному исследованию возможности применения безразмерных признаков контура бинарного изображения реального объекта для его распознавания. Целью работы является экспериментальное исследование возможности применения безразмерных признаков для распознавания объектов в системах машинного зрения. Поступающее с видеодатчика изображение бинаризуется. Вычисляется одноточечный контур бинарного изображения. По полученному контуру вычисляются периметр и метрическая длина, количество точек различной кривизны. На основе первичных коэффициентов формируется вектор признаков. Формируется набор эталонов для каждой группы изображений, состоящий из векторов безразмерных признаков. С использованием среднеквадратичного отклонения вычисляется степень сходства вектора признаков неизвестного изображения и векторов признаков эталонов. Минимум указывает на принадлежность тестируемого изображения к одной из заданных групп. Приведены результаты экспериментов по идентификации объектов, а также зависимость времени распознавания от количества используемых эталонов.

Ключевые слова: распознавание, идентификация, плоский объект, безразмерные признаки, контур

A STUDY OF THE ALGORITHM OF IDENTIFICATION OF REAL FLAT OBJECTS BASED ON DIMENSIONLESS MARKS OF THEIR CONTOURS

Sadykov S.S., Kulkov Y.Y.

The Murom Institute of Vladimir State University, Murom, e-mail: y_mail@mail.ru

Article is devoted to a study of possibility of application dimensionless marks of a bitmap image contour of real object for its recognition. The purpose of work is the experimental study of possibility of application of dimensionless marks for recognition of objects in machine sight systems. The image arriving from the video sensor been binary. The single-point contour of a bitmap is calculated. On the received contour the perimeter and metric length, quantity of points of various curvature are calculated. On the basis of primary coefficients the vector of marks is formed. Are formed the set of etalons for each group of images consisting of vectors of dimensionless marks. With use of a mean square deviation degree of similarity of a vector of marks of the unknown image and vectors of marks of etalons is calculated. The minimum indicates belonging of the tested image to one of the set groups. Results of experiments on identification of objects, and also dependence of time of recognition on quantity of the used standards are given.

Keywords: recognition, identification, flat object, dimensionless marks, contour

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по распознаванию отдельных реальных плоских объектов (ОРПО) с использованием безразмерных признаков, полученных из характеристик контуров бинарных изображений этих объектов, разработанных в [14].

Распознавание объектов по их изображениям – традиционная область цифровой обработки изображений. Распознавание имеет своей целью отнесение объекта к одному из заранее predetermined типов. Для решения данной задачи необходимо получение определенных признаков объекта по его изображению, которые позволят идентифицировать его с минимальной ошибкой. Для установления связи между значениями признаков объекта и решения о принадлежности его к определенному классу необходимо использование обучающей совокупности известных объектов [1–13].

Общая технология проведения экспериментов расчета безразмерных признаков по контурам бинарных изображений отдельных тестовых плоских объектов и их распознавания состоит из получения контура изображения объекта, вычисления признаков, обучения системы.

На рис. 1 приведены 10 исходных изображений ОРПО.

Эксперимент проводится на презентательной выборке изображений каждого из 10 ОРПО. Для этого проводится генерация множества повернутых изображений.

Предварительно выполняется линейная фильтрация входного изображения и удаление фона. Выходом этапа является изображение реального объекта на белом фоне.

Для каждого из сгенерированных изображений вычисляются центры тяжести.

Для вращения изображения на угол α используется алгоритм, приведенный в [7].

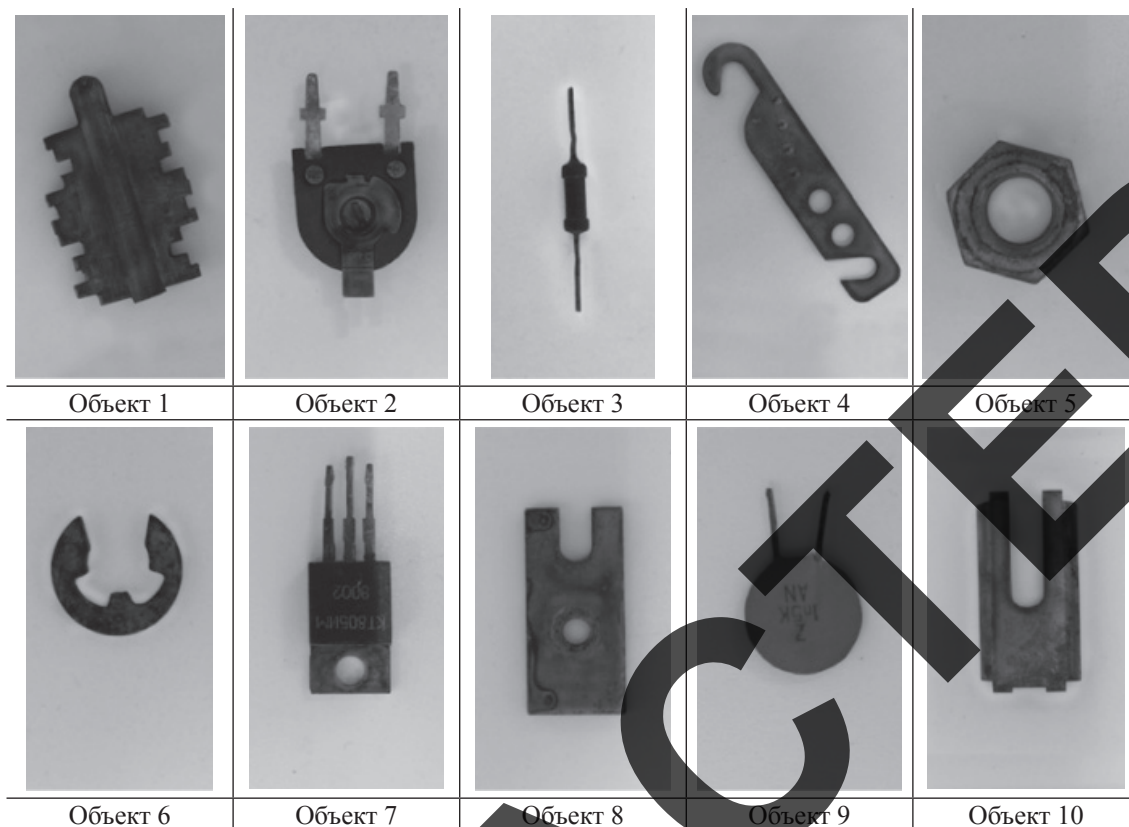


Рис. 1. Тестовые изображения

Формируется массив повернутых изображений каждого из 10 ОРПО с шагом в 1 градус. Всего 3600 изображений.

Далее реализуется имитация случайного появления объекта в поле зрения распознающей системы. С помощью генераторов случайных чисел (ГСЧ) с нормальным распределением из повернутых 360 изображений каждого из 10 ОРПО формируется 10 массивов по 2000 изображений.

С помощью второго ГСЧ получаем числа в диапазоне 0,364 до 0,720. Такое ограничение необходимо для того, чтобы свести к минимуму расположения изображений вне рабочего поля). Для 2000 реализаций каждого объекта генерируются 4000 чисел. Первое число от ГСЧ будем считать координатой центра тяжести по оси икс X_c объекта, второе число – Y_c . Таким образом определяются координаты центра тяжести каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО. Согласно этим координатам 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО размещаются на рабочем поле.

Выполняется бинаризация полутоновых изображений с использованием алгоритма сегментации Отсу.

По полученным изображениям рассчитывается количество точек в каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО, то есть вычисляет площадь объекта S_0 . Формируются одноточечные контуры бинарных изображений объектов по алгоритму в [3].

Рассчитывается количество точек P_0 , образующих контур каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО. Определяется метрическая длина $L_{\text{конт}}$ контура каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО.

Определяется значение кривизны в точках каждого контура каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО, а также маркируются опорные точки выпуклых и вогнутых участков контура по алгоритму в [8].

По полученным изображениям вычисляется количество опорных точек выпуклых, вогнутых и линейных участков контуров:

M_1 – количество точек контура со значением +90;

M_2 – количество точек контура со значением -90;

M_3 – количество точек контура со значением +135;

M_4 – количество точек контура со значением -135;

K – количество 4-х связных точек контура;

T – количество D связных точек контура.

По формулам (1), (2) и (3) вычисляем общую длину выпуклых, вогнутых и линейных участков всего контура каждого объекта:

$$L_{\text{общ.вып}} = 1/2[M_1 2b + M_3(a + b)]; \quad (1)$$

$$L_{\text{общ.вог}} = 1/2[M_2 2b + M_4(a + b)]; \quad (2)$$

$$L_{\text{общ.лин}} = 1/2(K_2 a + T_2 b), \quad (3)$$

где a – расстояние между 4 связными точками; b – расстояние между D связными точками.

По полученным осуществляем расчет векторов безразмерных признаков каждой из 2000 реализаций всех 10 ОРПО.

$$K_1 = P_0/S_0; \quad (4)$$

$$K_2 = M1/S_0; \quad (5)$$

$$K_3 = M2/S_0; \quad (6)$$

$$K_4 = M3/S_0; \quad (7)$$

$$K_5 = M4/S_0; \quad (8)$$

$$K_6 = K/S_0; \quad (9)$$

$$K_7 = T/S_0; \quad (10)$$

$$K_8 = M1/P_0; \quad (11)$$

$$K_9 = M2/P_0; \quad (12)$$

$$K_{10} = M3/P_0; \quad (13)$$

$$K_{11} = M4/P_0; \quad (14)$$

$$K_{12} = K/P_0; \quad (15)$$

$$K_{13} = S_0/P_0; \quad (16)$$

$$K_{14} = L_{\text{общ.лин}}/L_{\text{конт}}; \quad (17)$$

$$K_{15} = L_{\text{общ.вог}}/L_{\text{конт}}; \quad (18)$$

$$K_{16} = L_{\text{общ.вып}}/L_{\text{конт}}; \quad (19)$$

Далее в диалоговом режиме осуществляется выбор эталонов для распознавания каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО. По гистограмме, полученной на этапе генерации, выбирается вектор признаков самой часто использованной из 360 повернутых вариантов, например 1-го ОРПО, при формировании 2000 реализаций. Для данного вектора коэффициентов по методу среднеквадратичного отклонения (20) вычисляется Z_i с каждой из 2000 реализаций.

$$Z_i = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n (K_{ej} - K_{lj})^2, \quad (20)$$

где n – число признаков; l – номер распознаваемого объекта ($l = 1, 2, \dots, 2000$); K_{ej} – значение j -го признака вектора коэффициентов

K выбранного эталона; K_{lj} – значение j -го признака вектора коэффициентов K выбранной реализации.

Вычисляются 2000 СКО Z_i . Среди них ищутся Z_{\min} :

$$Z_{\min} = \min\{Z_i\}. \quad (21)$$

Найденные значения Z_{\min} указывают номера реализаций среди 2000 изображений, вектора-признаки которых совпадают с вектором-признаком выбранной как эталон реализации. Очевидно, что с одним эталоном распознать все 2000 реализаций 1-го ОРПО невозможно.

На втором шаге на основе гистограммы выбирается как эталон вектор-признак следующей часто использованной из 360 повернутых вариантов, например 1-го ОРПО, при формировании 2000 реализаций. Вычисляются 2000 СКО Z_i . Среди них ищутся Z_{\min} по формуле (21).

Найденные значения Z_{\min} указывают номера реализаций среди 2000 изображений, вектора-признаки которых совпадают с вектором-признаком выбранной как эталон реализации и т.д. Выбор эталонов для реализаций 1-го ОРПО проводится до тех пор, пока не будут распознаны все 2000 реализаций.

Аналогично, выбор эталонов проводится для всех реализаций всех остальных 9 ОРПО.

Результаты выбора эталонов для 2000 реализаций каждого из 10 ОРПО приведены в табл. 1.

На этом обучение системы распознавания завершается.

Экзамен обученной системы осуществляется на 20000 реализациях всех 10 ОРПО на основе формул (20) и (21).

Экзамен заключается в сравнении векторов признаков всех 20000 реализаций всех 10 ОРПО с выбранными эталонами.

Производится выбор некоторого случайного объекта. Для него выполняются все описанные процедуры получения безразмерных признаков контура. Полученный вектор признаков неизвестного ОРПО сравнивается со всеми эталонными векторами-признаками в табл. 2. Определяется тип ОРПО в соответствии с $\min\{Z_{\min}\}$.

Процедура экзамена повторяется для 2-го неизвестного объекта и так далее для всех 20000 реализаций всех 10 ОРПО. Строится таблица правильного распознавания.

Таблица 1

Номер ОРПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во эталонов	33	34	48	19	20	27	35	28	33	27

Таблица 2

Результаты правильной идентификации всех реальных объектов при количестве эталонов от 10 до 48 на каждый объект

Номер объекта	Кол-во испытаний	Количество эталонов											
		15		20		25		30		40		48	
		кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.
1	2000	1160	58	1480	74	1721	86.05	1941	97.05	2000	100	2000	100
2	2000	1191	59.6	1490	74.5	1764	88.2	1917	95.85	2000	100	2000	100
3	2000	937	46.9	1172	58.6	1375	68.75	1565	78.25	1833	91.65	2000	100
4	2000	1797	89.9	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
5	2000	1838	91.9	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
6	2000	1389	69.5	1740	87	1963	98.15	2000	100	2000	100	2000	100
7	2000	1189	59.5	1431	71.55	1658	82.9	1299	64.95	2000	100	2000	100
8	2000	1417	70.9	1706	85.3	1957	97.85	2000	100	2000	100	2000	100
9	2000	1169	58.5	1568	78.4	1845	92.25	1963	98.15	2000	100	2000	100
10	2000	1462	73.1	1698	84.9	1923	96.15	2000	100	2000	100	2000	100

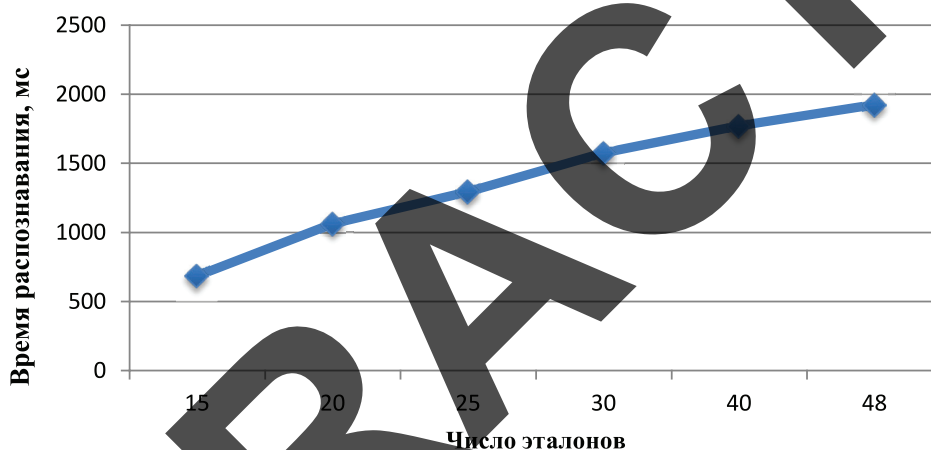


Рис. 2. График зависимости времени распознавания от числа эталонов на объект

График изменения времени на распознавание при увеличении количества эталонов представлен на рис. 2.

Заключение

Объект под номером 3 имеет простой контур. Но вследствие дискретного характера значения координат точек, составляющих изображение, при вращении меняется структура контура. При некоторых углах имеет место большее количество линейных участков контура изображения данного объекта. При этом при других углах линейный характер контура изменяется, и получаем большое количество выпуклых участков с углом 135. Вследствие этого первичные коэффициенты различных повернутых экземпляров данного объекта существенно отличаются. А значит, и полученные векторы признаков будут иметь отличия. На этапе обучения одним эталоном удается рас-

познать меньшее количество изображений. Это привело к необходимости использовать 48 эталонов для достижения 100-процентного распознавания.

Те же рассуждения справедливы и для объекта 5. При вращении полутонового изображения получаем различное соотношение линейных, выпуклых и вогнутых участков контура.

При обучении системы для распознавания объекта под номером 4 получено 19 эталонов. При всей сложности изображения исходного объекта его бинаризованное представление дало небольшое различие в векторах признаков.

В ходе проведения экспериментов получено время, требуемое для распознавания поступающего на вход тестовой системы изображения объекта. Используемая для написания программа не подвергалась оптимизации, в результате чего полученное

время является достаточно большим для применения в системах технического времени. Основное время занимают алгоритмы выделения одноточечного контура и маркировки опорных точек. При практическом использовании данного алгоритма идентификации объектов необходимо провести оптимизацию данных функций в программе. Также в программе используются линейная фильтрация и алгоритм бинаризации Оцу. Данные алгоритмы широко применяются в различных задачах цифровой обработки изображений, и возможно использование готовых функций, оптимизированных для применения в системах реального времени.

Список литературы

1. Андрианов Д.Е. Разработка муниципальных геоинформационных систем / Д.Е. Андрианов, С.С. Садыков, Р.А. Симakov. – М.: Мир, 2006. – 109 с.
2. Жизняков А.Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений: монография / А.Л. Жизняков, С.С. Садыков. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008. – 121 с.
3. 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. – № 1 (23). – С. 56–64.
4. Критерии выделения групп риска из лиц трудоспособного возраста при медицинских исследованиях на системе АСПО / О.И. Евстигнеева, С.С. Садыков, Е.Е. Суслова, А.С. Белякова // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012. – № 19. – С. 33–39.
5. Садыков С.С. Автоматическая объективная оценка и выбор наиболее значимых параметров для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний // С.С. Садыков, И.А. Сафиулова, А.С. Белякова // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 3. – С. 27–33.
6. 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. – № 1 (23). – С. 50–55.
7. 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. 155–167.
8. Садыков С.С. Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров / С.С. Садыков, С.В. Савичева // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 13–16.
9. Садыков С.С. Исследование наложенности плоских объектов в поле зрения системы технического зрения / С.С. Садыков, С.В. Савичева // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 2. – С. 14–18.
10. Садыков С.С. Математические модели некоторых сердечно-сосудистых заболеваний / С.С. Садыков, А.С. Белякова // Информационные технологии. – 2011. – № 12. – С. 59–63.
11. Садыков С.С. Распознавание плоских объектов при их наложении / С.С. Садыков, С.В. Савичева // Информационные технологии. – 2013. – № 2. – С. 43–46.
12. Садыков С.С. Система формирования данных об информационных ресурсах краеведческого музея и управления ими: опыт разработки и использования / С.С. Садыков, Е.Е. Канунова // Информационные технологии. – 2007. – № 10. – С. 59–65.
13. Садыков С.С. Технология выделения области кисты на маммограмме / С.С. Садыков, Е.А. Захарова, Ю.А. Буланова // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2013. – № 1 (43). – С. 7–12.
14. Садыков С.С. Формирование безразмерных коэффициентов формы замкнутого дискретного контура // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2014. – № 4(29). – С. 91–98.

References

1. Andrianov D.E. Razrabotka municipalnykh geoinformacionnykh sistem / D.E. Andrianov, S.S. Sadykov, R.A. Simakov. M.: Mir, 2006, 109 p.
2. Zhiznyakov A.L. Teoreticheskie osnovy obrabotki mnogomasshtabnykh posledovatel'nostej cifrovyykh izobrazhenij: monografiya / A.L. Zhiznyakov, S.S. Sadykov. Vladimir: Izd-vo VIGU, 2008, 121 p.
3. Issledovanie markernogo vodorazdela dlya vydeleniya oblasti raka molochnoj zhelezy / S.S. Sadykov, Ju.A. Bulanova, E.A. Zaharova, V.S. Jashkov // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh. 2013. no. 1 (23). pp. 56–64.
4. Kriterii vydeleniya grupp riska iz lic trudospobnogo vozrasta pri medicinskih issledovaniyakh na sisteme ASPO / O.I. Evstigneeva, S.S. Sadykov, E.E. Suslova, A.S. Beljakova // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh. 2012. no 19. pp. 33–39.
5. Sadykov S.S. Avtomaticheskaja obektivnaja ocenka i vbor naibolee znachimyykh parametrov dlya diagnostiki serdечно-sosudistykh zabolevanij / S.S. Sadykov, I.A. Safiulova, A.S. Beljakova // Avtomatizacija i sovremennye tehnologii. 2012. no. 3. pp. 27–33.
6. Sadykov, S.S. Algoritm teksturnoj segmentacii dlya vyjavlenija oblastej kisty na mammogrammah / S.S. Sadykov, Ju.A. Bulanova, A.G. Romanov // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh. 2013. no. 1 (23). pp. 50–55.
7. Sadykov S.S. Dialogovaja sistema analiza mammograficheskikh snimkov / S.S. Sadykov, Ju.A. Bulanova, E.A. Zaharova // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh. 2012. no. 19. pp. 155–167.
8. Sadykov S.S. Identifikacija realnykh ploskikh obektov na osnove edinstvennogo priznaka toчек ih vneshnih konturov / S.S. Sadykov, S.V. Savicheva // Informacionnye tehnologii. 2011. no. 8. pp. 13–16.
9. Sadykov S.S. Issledovanie nalozhenosti ploskikh obektov v pole zrenija sistemy tehničeskogo zrenija / S.S. Sadykov, S.V. Savicheva // Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Priborostroenie. 2012. Vol. 55. no. 2. pp. 14–18.
10. Sadykov S.S. Matematicheskie modeli nekotorykh serdечно-sosudistykh zabolevanij / S.S. Sadykov, A.S. Beljakova // Informacionnye tehnologii. 2011. no. 12. pp. 59–63.
11. Sadykov S.S. Raspoznavanie ploskikh obektov pri ih nalozhenii / S.S. Sadykov, S.V. Savicheva // Informacionnye tehnologii. 2013. no. 2. pp. 43–46.
12. Sadykov S.S. Sistema formirovanija dannyh ob informacionnykh resursah kraevеdčeskogo muzeja i upravlenija imi: opyt razrabotki i ispolzovanija / S.S. Sadykov, E.E. Kanunova // Informacionnye tehnologii. 2007. no. 10. pp. 59–65.
13. Sadykov S.S. Tehnologija vydelenija oblasti kisty na mammogramme / S.S. Sadykov, E.A. Zaharova, Ju.A. Bulanova // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotehničeskogo universiteta. 2013. no. 1 (43). pp. 7–12.
14. Sadykov S.S. Formirovanie bezrazmernyykh koeficientov formy zamknutogo diskretnogo kontura / S.S. Sadykov // Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh. 2014. no.4 (29). pp. 91–98.