

8. Oriol, M. Quality models for web services: A systematic mapping [Text] / M. Oriol, J. Marco, X. Franch // Information and software technology. – 2014. – Vol. 56, Issue 10. – P. 1167–1182.
9. Sheng, Q. Z. Web-services composition: A decade's overview [Text] / Q. Z. Sheng, X. Qiao, A. V. Vasilakos, C. Szabo, S. Bourne, X. Xu // Information Sciences. – 2014. – Vol. 280. – P. 218–238. doi:10.1016/j.ins.2014.04.054
10. Silva, S. Development of a web-based multi-criteria spatial decision support system for the assessment of environmental sustainability of dairy farms [Text] / S. Silva, L. Al ada-Almeida, L. C. Dias // Computers and Electronics in Agriculture. – 2014. – Vol. 108. – P. 46–57. doi:10.1016/j.compag.2014.06.009
11. Yigit, M. Cloud Computing for Smart Grid applications [Text] / M. Yigit, V. C. Gungor, S. Baktir // Computer Networks. – 2014. – Vol. 70. – P. 312–329. doi:10.1016/j.comnet.2014.06.007
12. Li, Zh. A generic cloud platform for engineering optimization based on OpenStack [Text] / Z. Li, H. Li, X. Wang, K. Li // Advances in Engineering Software. – 2014. – Vol. 75. – P. 42–57. doi:10.1016/j.advengsoft.2014.05.001
13. Yu, H. Granary: A sharing oriented distributed storage system [Text] / H. Yu, F. Zhang, Y. Wu // Future Generation Computer Systems. – 2014. – Vol. 38. – P. 47–60. doi:10.1016/j.future.2013.08.001
14. Upton, E. Raspberry Pi User Guide [Text] / E. Upton. – New York City: John Wiley & Sons, 2012. – 262 p.
15. Corbet, J. Linux Device Drivers [Text] / J. Corbet. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2005. – 640 p.
16. Wolfram, S. The Mathematica Book [Text] / S. Wolfram. – Champaign: Wolfram Media, 2004. – 1488 p.
17. McKinney, W. Python for Data Analysis [Text] / W. McKinney. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2012. – 470 p.
18. Downey, A. Think Python [Text] / A. Downey. – Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2012. – 300 p.
19. Jarvis, S. High Performance Computing Systems Performance Modeling, Benchmarking and Simulation [Text] / S. Jarvis. – New York City: Springer, 2014. – 240 p.
20. Russel, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach [Text] / S. Russell. – New Jersey: Prentice Hall, 2009. – 1152 p.

Запропоновано перешкодостійкий алгоритм розпізнавання символної інформації без процедур попередньої сегментації та контурної фільтрації, побудований на основі комбінації кореляційного методу та критерію мінімуму кодових відстаней. Проведено порівняльний аналіз з відомими алгоритмами розпізнавання символної інформації. Показано, що запропонований алгоритм вимагає виконання меншого числа арифметичних операцій та має низьку складність технічної реалізації

Ключові слова: розпізнавання символної інформації, ковзна кореляція, бінаризація зображення, кодова відстань Хемінга

Предложен помехоустойчивый алгоритм распознавания символной информации без процедур предварительной сегментации и контурной фильтрации, построенный на основе комбинации корреляционного метода и критерия минимума кодовых расстояний. Проведен сравнительный анализ с известными алгоритмами распознавания символной информации. Показано, что предложенный алгоритм требует выполнения меньшего числа арифметических операций и обладает низкой сложностью технической реализации

Ключевые слова: распознавание символной информации, скользящая корреляция, бинаризация изображения, кодовое расстояние Хэмминга

УДК 004.932.1

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ «СКОЛЬЗЯЩЕГО» КОРРЕЛЯЦИОННОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ СИМВОЛОВ

О. А. Кушниренко
Аспирант*

E-mail: kuuk@mail.ru

А. В. Садченко

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: anjand@mail.ru

А. В. Троянский

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: troy_shur@mail.ru

*Кафедра радиотехнических систем

Одесский национальный

политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

В современных системах машинного зрения актуальна задача распознавания символной информации.

Решение такой задачи необходимо при распознавании регистрационных номеров автомобилей, надписей на железнодорожных вагонах и контейнерах, при идентификации символной информации на печатных платах

и электронных компонентах, при анализе текстовых документов и др. [1].

Для решения задачи распознавания символьной информации используют стандартную методику поиска и распознавания на изображениях фрагментов, соответствующих одному из множества шаблонов [2]. Эта задача включает в себя следующие этапы:

- выделение области расположения символов;
- шумоподавление и бинаризация принятого изображения;
- сегментация и определения угла наклона полученного символа;
- сравнение символа с набором шаблонов.

Такой подход требует решения ряда проблем. Первая из них – высокая вычислительная сложность решения задачи, которая возрастает с ростом количества используемых шаблонов. Вторая проблема – поиск оптимального критерия соответствия имеющегося символа заданному шаблону. Кроме того, реальные изображения, как правило, зашумлены и искажены, поэтому необходимо уменьшить влияние мешающих факторов на качество распознавания символьной информации.

Таким образом, для решения задачи распознавания символьной информации актуальна разработка помехоустойчивых алгоритмов распознавания, имеющих низкую вычислительную сложность.

2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

В настоящее время известно множество различных подходов к сравнению исходного изображения с заданным шаблоном.

В работах [3, 4] предложены алгоритмы распознавания алфавитно-цифровых символов, основанные на использовании модифицированной метрики Хаусдорфа при сравнении объекта распознавания с шаблоном.

Кроме того, в этих работах предложен метод структурного анализа, названный «методом радиальных окрестностей». В этом методе степень сходства изображений определяется соответствием их образов, которые содержат информацию, полученную с помощью сечений (например, вертикальных или горизонтальных). Проведено исследование работоспособности предложенных алгоритмов в условиях искажения исходных объектов распознавания.

В работе [5] предложено совместное использование структурного анализа и метрики Хаусдорфа при сравнении объекта и эталона. Исследованы качественные показатели предложенного алгоритма распознавания символьной информации.

Оптимальный алгоритм сравнения, обеспечивающий наибольшую вероятность правильного распознавания объекта, заключается в вычислении коэффициента корреляции между распознаваемым символом и набором всех шаблонов [6].

В работе [7] предложен корреляционный алгоритм распознавания алфавитно-цифровых символов и исследованы его качественные показатели.

Перечисленные выше алгоритмы распознавания символьной информации имеют высокие показатели распознавания и могут применяться в условиях искажения и зашумленности объектов распознавания. Их общим недостатком является высокая вычислительная сложность.

В работах [8, 9] предложены корреляционные алгоритмы распознавания символьной информации, которые не требуют выполнения операций умножения, и, соответственно, имеют низкую вычислительную сложность. Однако указанные алгоритмы распознавания не исследовались с точки зрения помехоустойчивости при распознавании искаженных и зашумленных объектов.

В работе [9] для распознавания алфавитно-цифровых символов был предложен алгоритм, не использующий процедуры предварительной сегментации и контурной фильтрации и обладающий низкой сложностью технической реализации.

Структурная схема системы распознавания символов, реализующей предложенный алгоритм, приведена на рис. 1. В этой схеме блок принятия решений ставит в соответствие текущему шаблону символа координаты кадра, по которым данный символ расположен, и в которых величина корреляционной функции превысила пороговое значение.

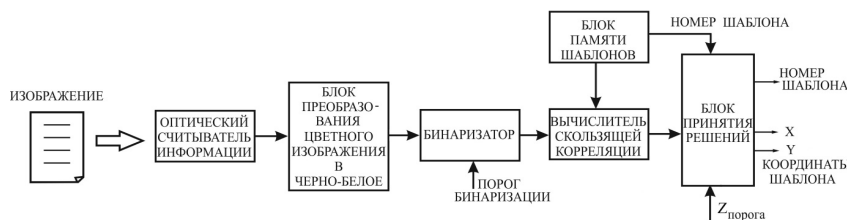


Рис. 1. Структурная схема системы распознавания печатных символов

В данной статье рассмотрены вопросы помехоустойчивости алгоритма распознавания, предложенного в [9], при распознавании зашумленных объектов, а также предложена модификация указанного алгоритма для обеспечения правильного распознавания изображений, подвергнутых предварительно искажению или зашумлению.

3. Модифицированный корреляционный алгоритм распознавания символьной информации

Рассмотрим для примера фрагмент отсканированного текста Arial с разрешением 30x30 пикселей, приведенный на рис. 2.

Вероятность правильного распознавания символьной информации в схеме, приведенной на рис. 1, зависит от корректного выбора порога в блоке принятия решений.

Величина порога для блока принятия решений при отсутствии шума выбирается согласно выражению

$$Z_{\text{порог}} = (L * H)^2 = (30 * 30)^2 = 8.1 * 10^5, \quad (1)$$

где L и H – соответственно высота и ширина шаблона символа в пикселях.

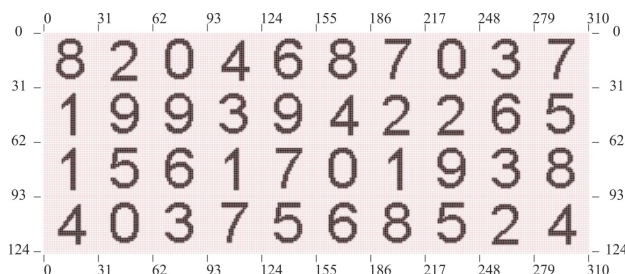


Рис. 2. Фрагмент текста

Результат скользящей корреляции первой строки фрагмента текста рис. 2 и шаблона цифры «0» приведен на рис. 3.

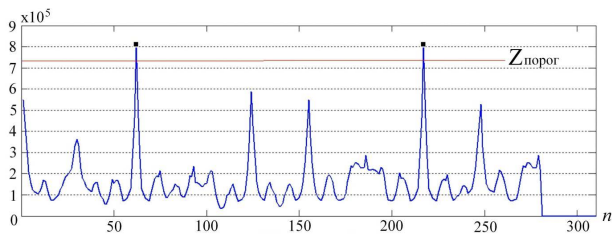


Рис. 3. Взаимно-корреляционная функция строки из 10 символов с шаблоном «0»

Анализ рис. 3 показывает, что взаимно-корреляционная функция превышает порог (1) в двух точках, следовательно «верхний левый угол» распознаваемых символов на позициях 62 и 217 (рис. 2) соответствует шаблону «0». Аналогично проводится распознавание остальных цифр в изображении.

В результате зашумления изображения белым шумом с дисперсией $\delta_{ш}=0,7$ (рис. 4) вероятность правильного распознавания снижается за счет снижения порога в блоке принятия решений и роста ложных выбросов.



Рис. 4. Результат зашумления изображения белым шумом с дисперсией $\delta_{ш}=0,7$

Плотность вероятности белого гауссовского шума определяется выражением

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где x – случайная величина, a – математическое ожидание, σ – средне-квадратическое отклонение ($\delta_{ш}=\sigma^2$ – дисперсия).

В случае распознавания «зашумленного» изображения схемой рис. 1 при вычислении взаимной корреляции между распознаваемым символом и шаблоном уровень порога должен выбираться с учетом дисперсии шума.

$$Z_{порог} = (L * N - N_{err}(\delta_{ш}))^2, \tag{3}$$

где $N_{err}(\delta_{ш})$ – зависимость числа ошибок от дисперсии белого гауссовского шума $\delta_{ш}$.

Так как шаблон символа представляет собой матрицу 30x30 пикселей (в одном шаблоне 900 пикселей), зависимость числа ошибок («битых пикселей») N_{err} от дисперсии белого гауссовского шума $\delta_{ш}$ будет определяться в табл. 1.

Для изображения, приведенного на рис. 4, дисперсия шума $\delta_{ш}=0,7$, среднее количество искаженных пикселей $N_{err} \leq 630$. Соответственно величина порога составляет

$$Z_{порог} = (L * N - N_{err}(\delta_{ш}))^2 = (30 * 30 - 630)^2 = 7,3 * 10^4.$$

Таблица 1

Зависимость числа ошибок в одном символе N_{err} от дисперсии белого гауссовского шума $\delta_{ш}$

Дисперсия шума, $\delta_{ш}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Число ошибок («битых пикселей») в одном шаблоне, N_{err}	0	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900

На рис. 5 показана взаимно-корреляционная функция изображения рис. 4 с шаблоном «0». Как следует из рисунка, вероятность ложного распознавания растет из-за снижения величины порога.

Для исключения ложного распознавания и, соответственно, повышения помехоустойчивости схемы рис. 1 предлагается для тех координат кадра, в которых корреляционная функция превышает пороговое значение, проводить дополнительный анализ по критерию минимума кодового расстояния.

Кодовое расстояние Хэмминга между двумя произвольными символами Y_i и Y_j вычисляется по формуле [10]:

$$d_{wu} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Y_{ij}^w \oplus Y_{ij}^u), \tag{4}$$

где $w \neq u$; w, u – номера шаблонов; \oplus – сумма по модулю 2 (операция исключающее «или»).

Ниже приведена матрица кодовых расстояний для всех шаблонов заданного набора символов.

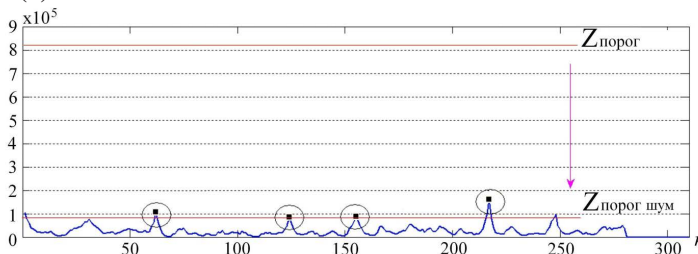


Рис. 5. Взаимно-корреляционная функция строки из 10 символов с шаблоном «0»

Структура системы распознавания с повышенной помехоустойчивостью приведена на рис. 6.

$$d_{vu} = \begin{bmatrix} 0 & 213 & 161 & 87 & 208 & 94 & 67 & 182 & 80 & 66 \\ 213 & 0 & 166 & 178 & 187 & 195 & 212 & 139 & 205 & 213 \\ 161 & 166 & 0 & 138 & 183 & 185 & 190 & 161 & 169 & 153 \\ 87 & 178 & 138 & 0 & 167 & 87 & 88 & 141 & 43 & 99 \\ 208 & 187 & 183 & 167 & 0 & 206 & 193 & 190 & 180 & 212 \\ 94 & 195 & 185 & 87 & 206 & 0 & 75 & 154 & 94 & 108 \\ 67 & 212 & 190 & 88 & 193 & 75 & 0 & 179 & 65 & 113 \\ 182 & 139 & 161 & 141 & 190 & 154 & 179 & 0 & 174 & 180 \\ 80 & 205 & 169 & 43 & 180 & 94 & 65 & 174 & 0 & 110 \\ 66 & 213 & 153 & 99 & 212 & 108 & 113 & 180 & 110 & 0 \end{bmatrix}$$

Таким образом, модифицированный алгоритм распознавания изображения на фоне шума представляет собой комбинацию двух методов – метода скользящей корреляции и метода минимума кодовых расстояний.

На схеме рис. 6 вычислитель скользящей корреляции обладает адаптивным порогом, учитывающим

дисперсию шума. Вычисление порога для каждого шаблона происходит по следующему алгоритму (рис. 7)

Развернутая схема всей системы имеет вид, приведенный на рис. 8.

Помехоустойчивость системы распознавания, структура которой приведена на рис. 6, без учета схемы вычисления координат распознаваемых символов определяется спектром кодовых расстояний всех шаблонов.

Сравнительная помехоустойчивость двух алгоритмов приведена в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что для дисперсии шума $\delta_{ш} \geq 0.3$ модифицированный алгоритм (рис. 7) позволяет существенно уменьшить среднее число ошибок в распознавании символов в 10 кадрах (400 символов) по сравнению с исходным алгоритмом (рис. 1), что подтверждает целесообразность использования модифицированного алгоритма.

Таблица 2

Сравнение помехоустойчивости исходного и модифицированного алгоритмов

Дисперсия шума, $\delta_{ш}$	Среднее число ошибок в распознавании 400 символов, N_{err_frame} для алгоритма рис. 1	Среднее число ошибок в распознавании 400 символов, N_{err_frame} для алгоритма рис. 7
0	0	0
0.1	0	0
0.2	0	0
0.3	12	2
0.4	28	2
0.44	31	6
0.47	56	7
0.57	68	23
0.6	113	33
0.67	143	89
0.74	201	143
0.8	335	275

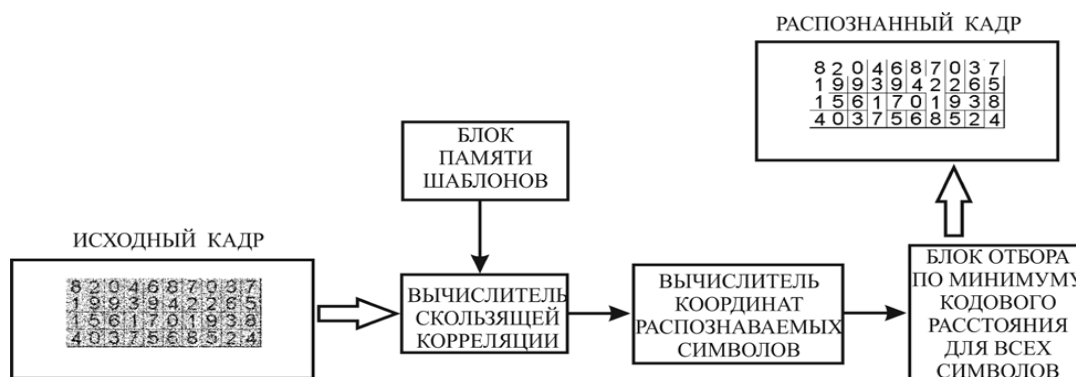


Рис. 6. Структурная схема системы распознавания символов на фоне шума

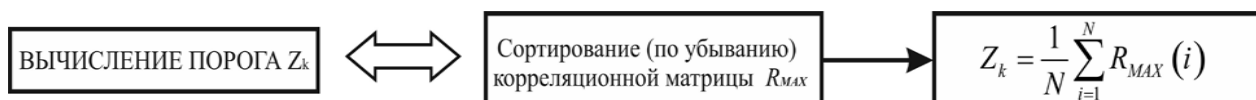
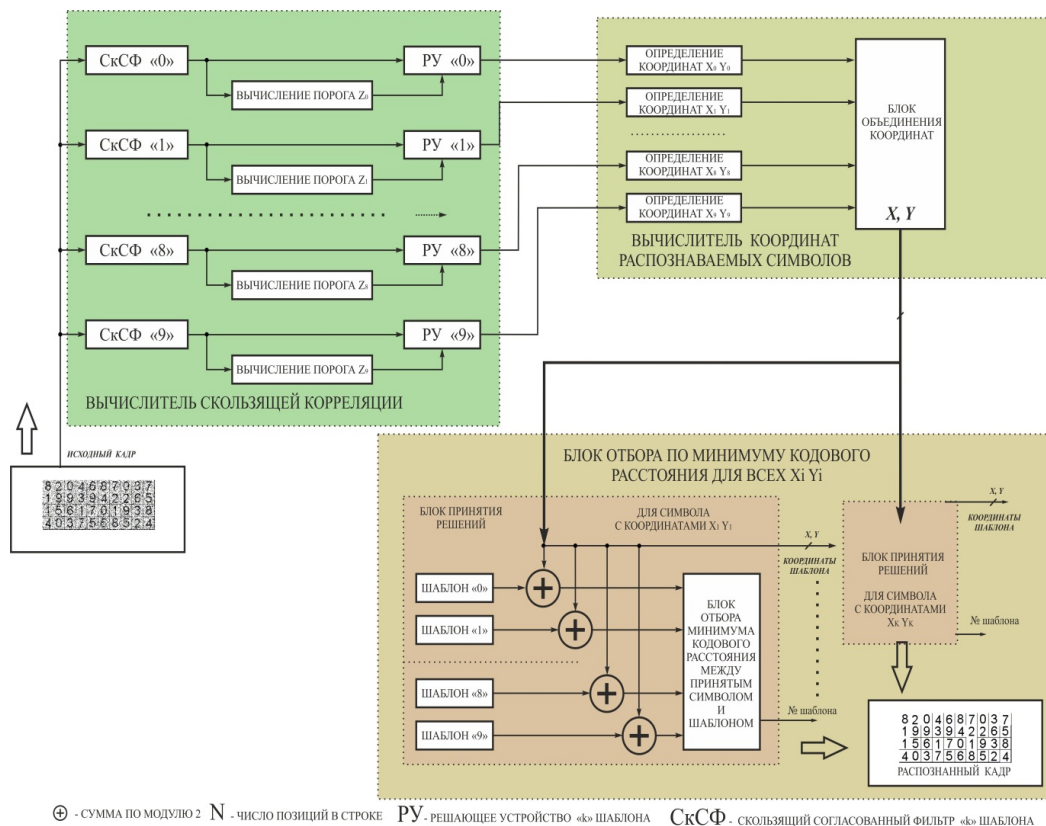


Рис. 7. Схема вычисления порога



⊕ - СУММА ПО МОДУЛЮ 2 N - число позиций в строке РУ - решающее устройство «к» шаблона СкСФ - скользящий согласованный фильтр «к» шаблона

Рис. 8. Развернутая структурная схема системы распознавания печатных цифр на фоне шума

4. Выводы

Таким образом, в данной работе предложен модифицированный алгоритм распознавания, который представляет собой комбинацию двух методов – метода скользящей корреляции и метода минимума кодовых расстояний. Предложенный алгоритм обладает следующими достоинствами:

- позволяет существенно улучшить вероятность правильного распознавания символов ценой незначительного усложнения алгоритма обработки;
- для работы системы распознавания не требуется предварительная сегментация и контурная фильтрация кадра, так как распознавание изображения выполняется в режиме скользящей корреляции;
- модифицированный алгоритм так же, как исходный, не требует выполнения операций умножения.

Литература

1. Форсайт, Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход [Текст] / Д. А. Форсайт, Жан Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Михайлов, И. А. Об одном методе распознавания изображений [Текст] / И. А. Михайлов // Моделирование и анализ информационных систем. – 2007. – Т. 14, № 4 – С. 7–12.
4. Михайлов, И. А. Некоторые методы распознавания изображений [Текст] / И. А. Михайлов // Моделирование и анализ информационных систем. – 2008. – Т. 15, № 4 – С. 56–64.
5. Хмелев, Р. В. Совместное использование структурного анализа и метрики Хаусдорфа при сравнении объекта и эталона [Текст] / Р. В. Хмелев // Компьютерная оптика. – 2005. – В. 27. – С.174–176.
6. Гиренко, А. В. Методы корреляционного обнаружения объектов [Текст] / А. В. Гиренко, В. В. Ляшенко, В. П. Машталир, Е. П. Путятин. – Харьков: АО “БизнесИнформ”, 1996. – 112 с.
7. Карлин, А. К. Распознавание номеров железнодорожных цистерн с использованием корреляционного алгоритма [Текст] / А. К. Карлин, А. Н. Малков, Е. А. Тимофеев, Г. П. Штерн // Математика, кибернетика, информатика: Труды международной научной конференции. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. – С.103–110.
8. Глумов, Н. И. Метод быстрой корреляции с использованием тернарных шаблонов при распознавании объектов на изображениях [Текст] / Н. И. Глумов, Е. В. Мясников, В. Н. Копенков, М. А. Чичева // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 3. – С. 277–282.
9. Кушниренко, О. А. Корреляционный алгоритм распознавания символьной информации с низкой сложностью технической реализации [Текст] / О. А. Кушниренко, А. В. Садченко, А. В. Троянский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 3, № 9 (63). – С. 42–45.
10. Сойфер, В. А. Методы компьютерной обработки изображений [Текст] / В. А. Сойфер. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с.