

---

---

# Телевизионные системы, передача и обработка изображений

---

---

УДК 004.932.75

## Распознавание рукописного текста на основе структурного анализа контуров изображений слов

Суслова А.М., Хафизов Д.Г., Хафизов Р.Г.

Предложен подход к решению задачи распознавания рукописного текста на основе метода контурного анализа изображений. При этом задача распознавания рукописного текста рассматривалась как задача распознавания контуров изображений со случайной формой. Для кодирования контуров изображений букв и фрагментов букв рукописного текста использовано комплексно-значное кодирование.

*Ключевые слова:* рукописный текст, распознавание, метод контурного анализа, случайный контур.

### Введение

Задача анализа рукописных текстов, несмотря на информатизацию и переход на электронные базы данных, находит своё применение в образовательной деятельности, криминалистике, психографологии, документообороте и т.д. При выполнении анализа и обработки рукописного текста возникают проблемы, связанные с весьма существенными объёмами материала и различными видами почерка. Поэтому процесс обработки текста является трудоёмким, занимает большое количество времени и приобретает субъективный характер. Для снижения трудоёмкости и субъективности оценки, а также возможных ошибок применяются различные автоматизированные средства и методы обработки и анализа текстов [1-6]. В работах [1-3] для распознавания рукописного текста используются нейронные сети. В работе [5] представлен метод распознавания рукописного текста, основанный на преобразовании текста в векторное изображение и формировании графа. Распознавание осуществляется путем сравнения сформированного графа с эталонным. В работе [6] для распознавания рукописного текста исходное изображение преобразуется в однобитную матрицу, с помощью которой определяется плотность текста, расстояния между словами и выполняется поиск связанных друг с другом точек ре-

курсивным методом. В результате получается набор совокупностей точек, которые в последствие объединяются по области слова.

Перспективным методом для решения задачи автоматизированного распознавания рукописного текста является метод, основанный на контурном анализе изображения текста. Контурный анализ подразумевает такой способ обработки изображений, при котором обработке подвергается лишь контур изображения, в то время как обработка каждой точки изображения не требуется. Контур целиком определяет форму изображения и содержит всю необходимую информацию для распознавания изображений по их формам [7]. Такой подход позволяет не рассматривать внутренние точки изображения и тем самым значительно сократить объём обрабатываемой информации за счёт перехода от анализа функции двух переменных к функции одной переменной. Следствием этого является возможность обеспечения работы системы обработки в масштабе времени, более близкого к реальному.

В работе [7] предложено кодировать элементы контура  $\Gamma$  комплексными числами, т.е.:  $\Gamma = \{\gamma(n)\} = \{\gamma_1(n) + i\gamma_2(n)\}$ ,  $n=0, 1, \dots, k-1$ , где  $k$  – размерность (количество элементов) контура. Основным достоинством метода контурного анализа является инвариантность меры схожести в виде нормированного ска-

лярного произведения двух контуров, представленных в комплекснозначном коде, к параметрам линейных преобразований [7,8]. В работах [8,9] предложена модель изображения со случайной формой, а на её основе методика распознавания. Контур в этом случае представляет собой комплексную случайную функцию неслучайного аргумента  $l$ :  $X(l) = \text{Re}(X(l)) + i\text{Im}(X(l))$ . Комплексную случайную функцию  $X(l)$  рассматривают как совокупность её возможных реализаций (траекторий)  $\chi_1(l), \chi_2(l), \dots, \chi_n(l)$  [8].

### 1. Структурный анализ формы изображений по их контурам

При анализе контуров сложных изображений в работе [7] предложен метод струк-

туры схожести между фильтруемым контуром  $\mathbf{N} = \{v(n)\}, n=0,1,\dots,k-1$ , и эталонным контуром  $\mathbf{\Gamma} = \{\gamma(n)\}, n=0,1,\dots,k-1$ . Пусть контур  $\mathbf{N} = \{v(n)\}, n=0,1,\dots,k-1$ , наряду с фрагментами произвольной конфигурации, содержит эталонный контур  $\mathbf{\Gamma} = \{\gamma(n)\}, n=0,1,\dots,s-1$  (рис. 1).

Выражение для фильтра с окном из  $s, s < k$ , элементов, вырабатывающего максимально возможный уровень выходного сигнала при попадании окна в область присутствия элементов эталонного контура  $\mathbf{\Gamma}$ :

$$\eta(m) = \sum_{n=0}^{s-1} v(n+m)\gamma(n), \quad m=0,1,\dots,k-1,$$

или в нормированном виде:

$$\eta_n(m) = \frac{\sum_{n=0}^{s-1} v(n+m)\gamma(n)}{(N_m(\Gamma))}, \quad m=0,1,\dots,k-1,$$

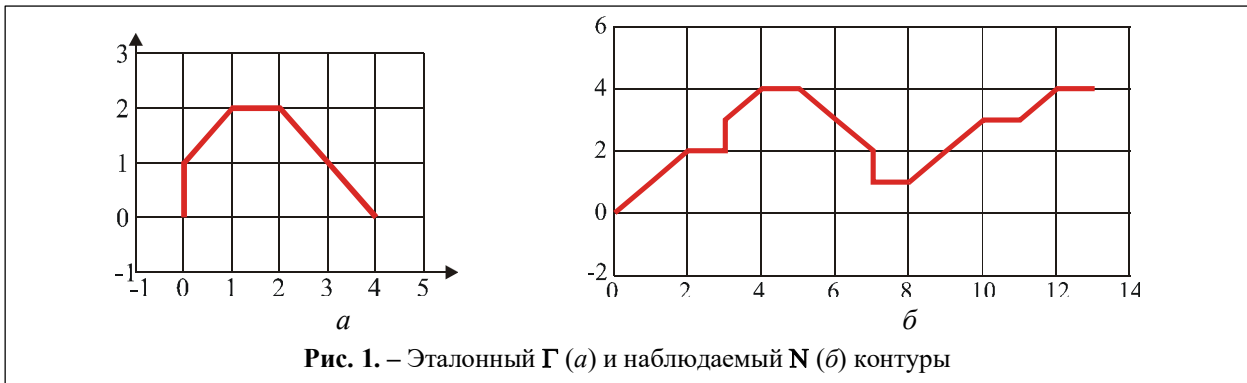


Рис. 1. – Эталонный  $\Gamma$  (а) и наблюдаемый  $\mathbf{N}$  (б) контуры

турного анализа, основанный на применении согласованной фильтрации. Контурный согласованный фильтр, задаваемый выражением

$$\eta(m) = \sum_{n=0}^{k-1} v(n+m)\gamma(n), \quad m=0,1,\dots,k-1,$$

обеспечивает образование количественной

где  $(\Gamma) = \sqrt{\sum_{n=0}^{s-1} \gamma(n)\gamma(n)}$  – норма эталонного

контура  $\mathbf{\Gamma}$ ,  $(N_m) = \sqrt{\sum_{n=0}^{s-1} v_m(m+n)v_m^*(m+n)}$  –

норма фрагмента контура  $\mathbf{N}$  на  $m$ -м шаге. На рис. 2,а представлена зависимость модуля нормированного отклика на выходе фильтра

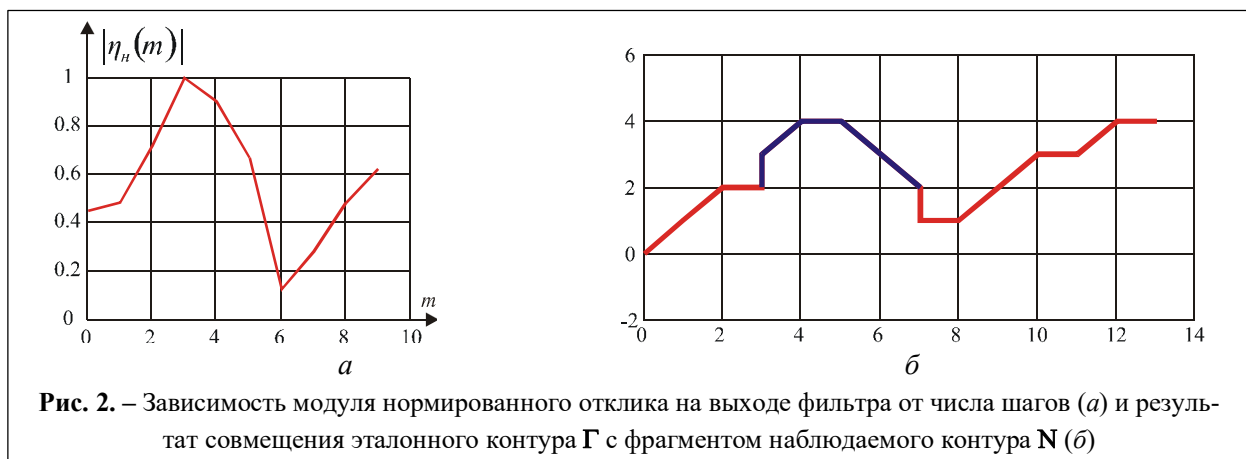


Рис. 2. – Зависимость модуля нормированного отклика на выходе фильтра от числа шагов (а) и результат совмещения эталонного контура  $\mathbf{\Gamma}$  с фрагментом наблюдаемого контура  $\mathbf{N}$  (б)

от сдвига  $m$ .

Максимальное значение модуля нормированного отклика на выходе фильтра, согласованного с контуром  $\Gamma$ , при фильтрации контура  $\mathbf{N}$  достигается при  $m=3$ . Таким образом, при совмещении контуров  $\Gamma$  и  $\mathbf{N}$  учтем полученный сдвиг. Результат совмещения эталонного контура  $\Gamma$  с фрагментом наблюдаемого контура  $\mathbf{N}$  показан на рис. 2,б. При этом мера схожести двух контуров в виде модуля нормированного скалярного произведения инвариантна к изменению масштаба и угловой ориентации анализируемого контура [7,8].

## 2. Формирование алфавита эталонных контуров букв

Для выполнения задачи распознавания рукописного текста методом контурного анализа, формируется алфавит эталонных контуров букв. В качестве эталонного контура используется буква, которая выделяется из целого написанного слова. Причем форма и вид эталона зависит от месторасположения буквы в слове. Для обнаружения буквы в середине слова, контур буквы делится на два фрагмента. На рис. 3 представлены примеры формирования эталонных контуров буквы  $c$  и  $t$  на примере слов *according*, *cat* и *antibiotic*.

В силу того, что почерк каждого человека уникален, для создания алгоритма распознавания рукописного текста необходимо сформировать набор вариантов написания каждой буквы большим множеством людей. Тогда контуры каждой буквы (или части буквы) можно рассматривать как совокупность возможных реализаций  $\chi_1(l), \chi_2(l), \dots, \chi_m(l)$  некоторой случайной функции  $\mathbf{X}(l)$ .

При формировании модели контура со случайной формой  $\mathbf{X}(l)$  требуется обеспечить равенство между собой значений параметров линейных преобразований контуров его реализаций  $\chi_1(l), \chi_2(l), \dots, \chi_m(l)$ , т.е. необходимо произвести корректировку параметров угла взаимного поворота, масштаба и сдвига начальных точек [8]. Получив контуры с равными значениями параметров линейных преобразований, можно сформировать контуры математических ожиданий. Методика формирования контуров математических ожиданий случайных контуров представлена в работе [8]. В результате этого будут сформирован алфавит эталонных контуров букв (или части букв).

## 3. Алгоритм распознавания рукописного текста

Задачу распознавания рукописного текста методом контурного анализа будем

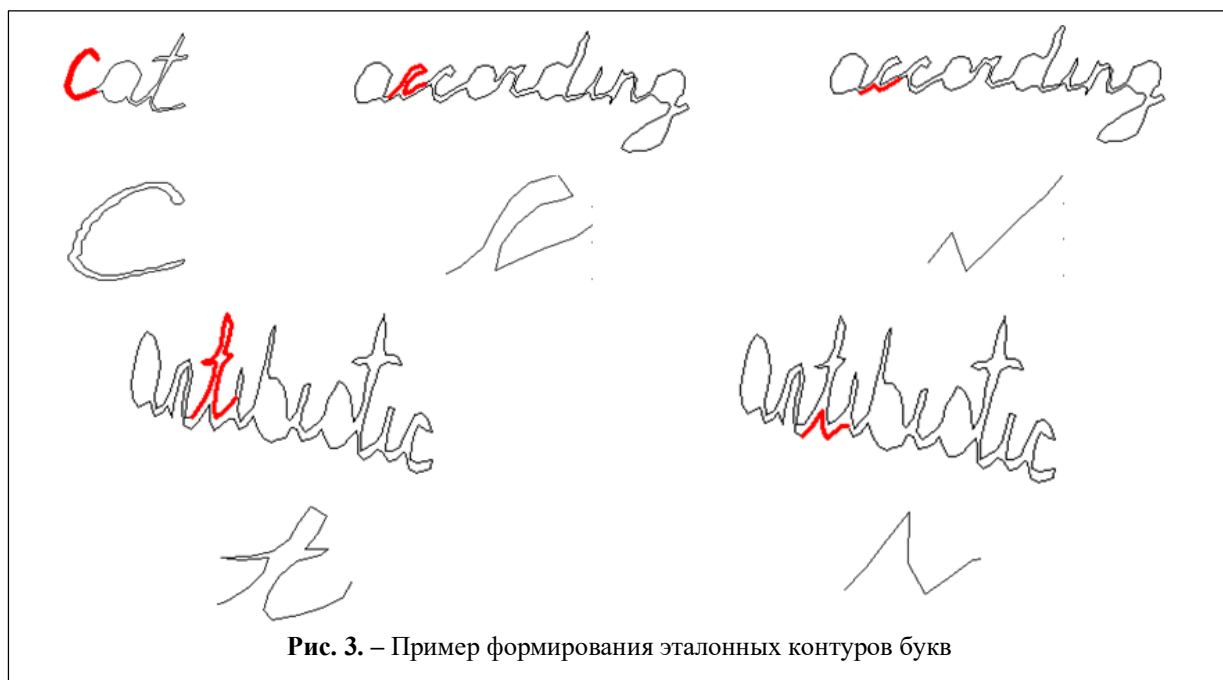


Рис. 3. – Пример формирования эталонных контуров букв

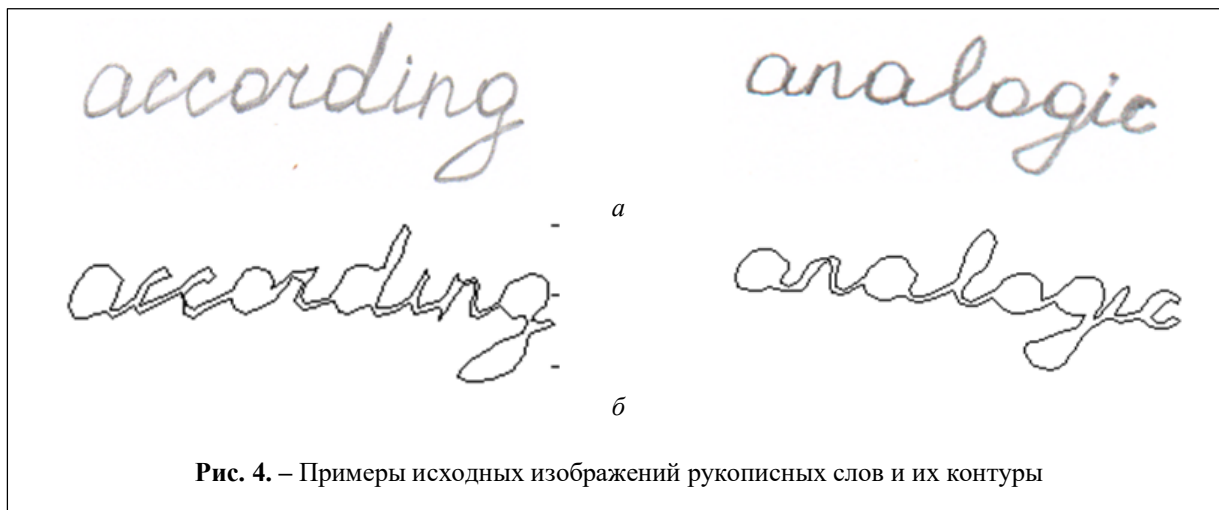


Рис. 4. – Примеры исходных изображений рукописных слов и их контуры

рассматривать как задачу распознавания контуров изображений со случайной формой. Пусть имеется некоторое множество случайных контуров  $\{X(l)\}$ , характеризующих классы букв «А», «Б», «В» и т.д., которые, в свою очередь, обозначим как  $A_1, A_2, A_3$  и т.д. На устройство распознавания (рис. 4) подается реализация  $\chi(l)$ , принадлежащая к одному из классов. Задача распознавания состоит в обоснованном отнесении контура  $\chi(l)$  к одному из классов  $A_1, A_2, A_3$  и т.д. Устройство распознавания является многоканальным и в каждом канале находится фильтр, согласованный с контуром математического ожидания каждого класса. Выделяется канал, у которого модуль выходного сигнала превышает модули выходных сигналов остальных каналов. Распознаваемый контур относится к тому классу, номер которого равен номеру канала с максимальным

отсчётом.

Рассмотрим пример распознавания буквы  $c$  в рукописных словах *according* и *analogic* (рис. 4) с использованием эталонных контуров, показанных на рис. 3.

Проведен анализ зависимостей модулей нормированных откликов на выходах фильтров от сдвига  $m$ . Получено, что для верхнего и нижнего фрагментов эталонного контура буквы  $c$  в слове *according* диапазон отсчетов составляет от 135 до 145 и от 115 до 123 соответственно, а для эталонного контура буквы  $c$  в слове *analogic* – от 57 до 73. Результат распознавания по полученным данным представлен на рис. 5.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет распознавать рукописный текст независимо от его тематики и не требует большого количества дополнительных расчетов. Немало важным преимуществом данно-

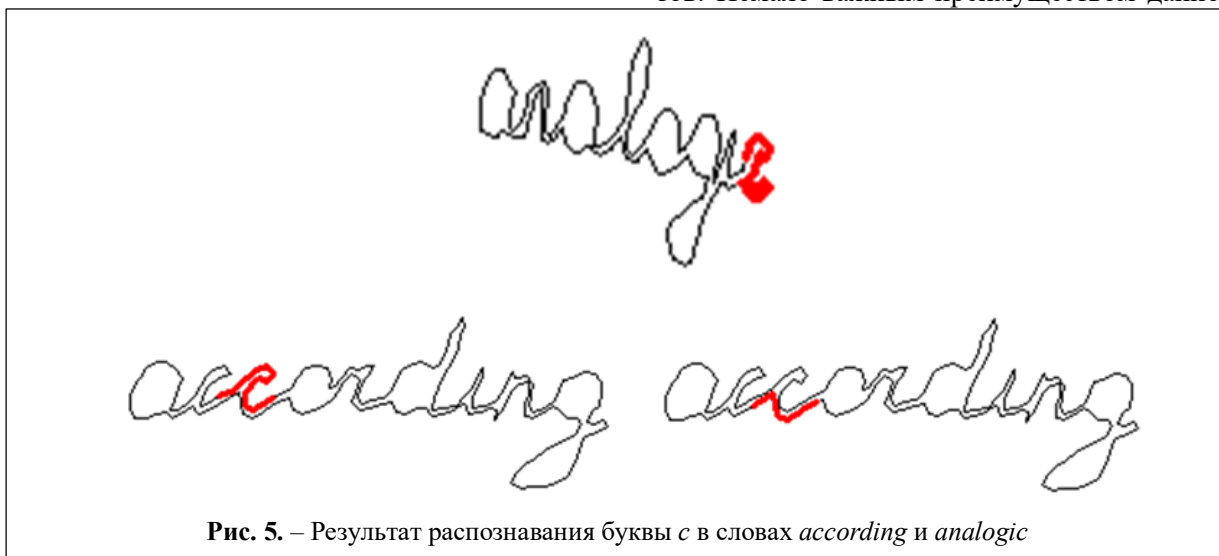


Рис. 5. – Результат распознавания буквы  $c$  в словах *according* и *analogic*

го алгоритма над существующими аналогами является то, что угол написания текста и его сканирования не влияет на результат распознавания, то есть задача распознавания выполняется при любом расположении текста.

### Заключение

В работе предложен подход к распознаванию рукописного текста на основе структурного анализа контуров изображений слов. Контур представлен как комплексная случайная функция и задан как совокупность возможных реализаций. При этом задача распознавания решалась в два этапа. На первом этапе решалась задача обучения: анализируются имеющиеся реализации случайного контура и формируется модель в виде математического ожидания контура. Математические ожидания случайных контуров разных классов в дальнейшем выступают в качестве эталонов. На втором этапе решается непосредственно задача распознавания. Наблюдаемая реализация случайного контура сравнивается со всеми сформированными эталонами. Для их сравнения используется согласованная фильтрация.

### Литература

1. Granet A., Morin E., Mouchère H., et al. Transfer Learning for Handwriting Recognition on Historical Documents // In Proceedings of the 7th

**Поступила 23 августа 2020 г.**

International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2018). 2018. P. 432. doi: 10.5220/0006598804320439.

2. Carbune V., Gonnet P., Deselaers T., et al. Fast multi-language LSTM-based online handwriting recognition // IJDAR 23. 2020. P. 89. doi: 10.1007/s10032-020-00350-4.

3. Baldominos A., Saez Y., Isasi P. Evolutionary convolutional neural networks: An application to handwriting recognition // Neurocomputing 283. 2018. P. 38. doi: 10.1016/j.neucom.2017.12.049.

4. Zhang W., Deng L., Yang L., et al. Multilanguage-handwriting self-powered recognition based on triboelectric nanogenerator enabled machine learning // Nano Energy 77. 2020. doi: 10.1016/j.nanoen.2020.105174.

5. Кучуганов А.В., Лапинская А.В. Распознавание рукописных текстов // Материалы международной научной конференции. - Ижевск, 2006. - С. 98-103.

6. Мозговой А.А. Проблемы извлечения рукописных слов из сканированных изображений // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. - 2013. - №1. С. 4-14.

7. Введение в контурный анализ и его приложение к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев и др.; под ред. Я.А. Фурмана. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.

8. Хафизов Р.Г. Модель контура изображения со случайной формой // Компьютерная оптика. - 2014. - № 1. - с. 127-130.

9. Сулова А.М. Распознавание изображений со случайной формой / Р.Г. Хафизов, Т.В. Яранцева, Т.П. Киселева, А.М. Сулова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. - 2013. - №2(18). - С. 52-60.

An approach to solving the problem of handwriting recognition based on the method of contour analysis of images is proposed. At the same time, the task of recognizing handwritten text was considered as the task of recognizing the contours of images with a random shape. Complex-valued coding is used to encode the contours of images of letters and fragments of letters of handwritten text.

**Key words:** handwriting, recognition, contour line analysis method, random contour line.

Сулова Анастасия Михайловна – специалист по охране труда ООО "Технотех".

E-mail: A\_M\_Suslova@mail.ru.

Адрес: 424000, г. Йошкар-Ола, ул. Строителей, д. 98.

Хафизов Динар Гафиятуллович – к.т.н., доцент, доцент кафедры радиотехнических и медико-биологических систем ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет.

E-mail: HafizovDG@volgatech.net

Адрес: 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3.

Хафизов Ринат Гафиятуллович – д.т.н., профессор, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет.

E-mail: HafizovRG@volgatech.net

Адрес: 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3.