

*Y. V. Ganziy*, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*M. M. Salakhov*, Student, Kama Institute of Humanities and Engineering Technologies, Izhevsk

*N. V. Mityukov*, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*E. L. Busygina*, PhD (Physics and Mathematics), Kama Institute of Humanities and Engineering Technologies, Izhevsk

### Experimental Determination of Arrow Drag Function

*The work is devoted to defining the drag coefficient of strike elements by an example of an arrow. The software ANSYS CFX was applied for calculations and comparison with experimental data.*

**Key words:** aerodynamics, strike elements, subsonic flow, arrow.

УДК 004.932.75'1

**Н. С. Исупов**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**А. В. Кучуганов**, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ТЕКСТОВ

*Описана общая методика по распознаванию слитных рукописных текстов на основе использования нечетких нагруженных графов в качестве средства описания объектов и лучевых графов в качестве средства анализа текста.*

**Ключевые слова:** распознавание, нечеткая логика, нечеткий граф, рукописный текст, типовой опорный узел, эталон.

**В** задаче распознавания рукописных текстов известно несколько крупных проблем:

- бесконечное количество разновидностей почерка;
- индивидуальные особенности почерка, такие как раздельное написание некоторых элементов слова или наличие декоративных элементов;
- сложность выявления отдельных символов в слитном рукописном слове;
- зависимость написания символа от его положения в слове.

На данный момент существует ряд систем распознавания текстов, например ABBYY Finereader, OmniPage, OCR CUNEIFORM, Readiris, Microsoft Office Document Imaging. Все они довольно успешно справляются с задачей распознавания печатных текстов, в то время как задача распознавания слитных рукописных текстов является лишь отчасти решенной.

В задаче распознавания рукописных текстов можно выделить два класса задач: распознавание в режиме реального времени (online распознавание) и оптическое распознавание символов (offline распознавание) [1]. Согласно типу распознаваемых текстов можно выделить две группы offline систем распознавания рукописных текстов: системы, ориентированные на распознавание отдельных символов (чисел, иероглифов, математических символов и т. д.) и системы распознавания слитного рукописного текста.

Наиболее успешно решается задача распознавания в режиме реального времени (PenReader, ritePen, EverNote), так как данный подход позволяет учиты-

вать дополнительные характеристики письма (направление движения пера при написании символов). Задача распознавания отдельных символов рукописного текста отчасти решается с помощью оптического распознавания символов (ABBYY Finereader, Readiris), хотя для достижения высокой точности распознавания требуется тонкая настройка на тестовых наборах символов.

В теории распознавания образов выделяются различные группы признаков, по которым ведется сравнение распознаваемой области и эталона.

По типу выделяемых признаков методы распознавания делятся [2]:

- на статистические методы;
- детерминированные методы;
- логические методы;
- структурные, или лингвистические методы.

Также можно выделить системы на основе нейросистемного подхода. Нередко системы распознавания создаются на основе комбинации этих методов.

Большинство систем распознавания рукописных символов основано на использовании статистических или структурных методов для выделения признаков, по которым проводится сравнение. При этом роль инструмента анализа в таких системах играют нейронные сети [3].

С учетом достоинств и недостатков вышеперечисленных методов было решено создать систему распознавания на основе структурно-лингвистического подхода [4] с использованием лингвистических переменных и аппарата нечеткой логики [5].

Сущность предлагаемого подхода заключается в следующем.

Изображение символа можно представить в виде нечеткого нагруженного графа, состоящего из узлов и ветвей (рис. 1).

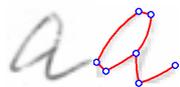


Рис. 1. Пример представления рукописной буквы «а» в виде графа

В нашем случае нечеткий нагруженный граф – это

$$G = (V, A, E, R),$$

где  $v \in V$  – множество типовых опорных узлов (ТОУ), параметры которых  $a \in A$  – это множество лингвистических переменных, принимающих значение из соответствующих нечетких множеств;  $e \in E$  – множество ребер (неориентированных дуг), отображающих пространственные отношения между ТОУ с помощью параметров  $r \in R$  – множество лингвистических переменных, принимающих значения из нечетких множеств.

Выделяется ограниченное множество вариантов узлов (рис. 2), называемых типовыми опорными узлами (ТОУ).

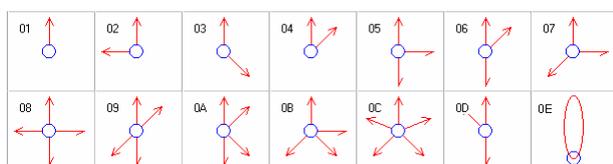


Рис. 2. Типы узлов

Параметры ветвей графа преобразуются в нечеткие переменные. Ветви имеют форму, а также показатели направления и ориентации. Отличие ориентации от направления заключается в том, что направление высчитывается относительно предыдущего отрезка (*прямо, правый слабый поворот, правый сильный поворот, поворот направо* и т. д.), а ориентация не зависит от других элементов (*север, северо-северо-восток, северо-восток* и т. д.). Направление, ориентация, форма и длина ветви являются лингвистическими переменными, принимающими ограниченное количество качественных значений.

Инструментом анализа графов служит лучевой граф [6].

Назовем **лучевым графом** с центром в точке  $v_0$  граф  $GB$  (beam – луч)

$$GB(v_0) = (VB, EB), v_0 \in V, VB \subset V, EB \subset E,$$

в котором центральная вершина  $v_0$  не имеет входящих дуг, а во всех остальных вершинах есть одна и только одна входящая дуга, причем

$$\forall c_1, c_2 \in VB \cup EB, c \in V \cup E (c_1 = c \wedge c_2 = c \Rightarrow A(c_1) \neq A(c_2)),$$

где  $A(c_1)$  – множество значений атрибутов узла или ребра  $c_1$ .

Лучевой граф выражает порядок анализа графической информации. Он, являясь в своей основе графом типа дерево, детерминирует процесс анализа (рис. 3).

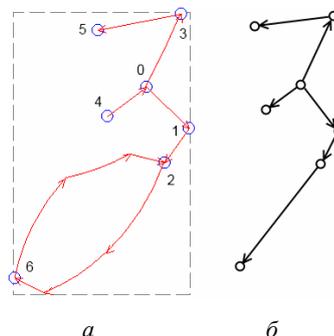


Рис. 3. Нечеткий нагруженный граф символа (а) и его лучевой граф анализа (б)

Ясно, что алгоритмы распознавания должны быть инварианты к деформациям и аффинным преобразованиям изображений. Лучевой граф выполняет также требование, что алгоритмы распознавания не должны строиться с привязкой к каким-либо параметрам изображения (например, размер или угол поворота изображения). В лучевом графе отображаются функциональные зависимости параметров элементов, исходящие из центрального узла:

$$\forall v: GB(v) \forall c \in VB \cup EB (A(c) = A(v)^f).$$

Такой подход позволяет решать задачи поиска в графической информации заданного фрагмента и выявления схожих подобразов, работая при этом на полных графах.

В процессе экспериментальных исследований было выявлено, что при представлении рукописных слов в виде нечетких нагруженных графов некоторые буквы включают в себя более простые (рис. 4).

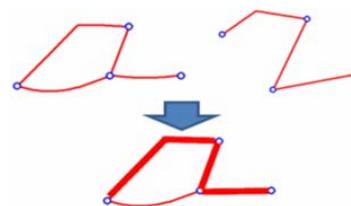


Рис. 4. Символ «а» включает в себя символ «г»

Соответственно, можно выделить две группы символов – составные и простые (см. табл.), поэтому было решено реализовать алгоритм на основе метода сборки.

Сущность предлагаемого метода заключается в следующем.

1. Поиск простых символов.
2. Поиск фрагментов составных символов по предполагаемым ключевым элементам.

### Зависимости между различными символами отдельно взятого рукописного шрифта

Составной символ	Простые символы
а	Г
в	е, а, г, о
е	о
з	н, о
и	а, г
м	н, а, ш
н	а, и
у	о, з, а, г, и
ш	г, о, н, м, и, с

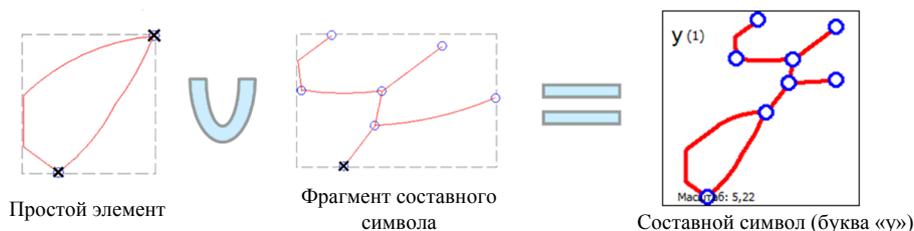


Рис. 5. Сущность метода сборки

#### Библиографические ссылки

1. Горский Н., Анисимов В., Горская Л. Распознавание рукописного текста. – СПб. : Политехника, 1997.
2. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. – М. : Высш. шк., 1989.
3. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский [и др.]. – Харьков : Основа, 1997.

Таким образом, любой сложный символ собирается по частям (рис. 5) на основе правил продукционного вида (например, если найден «простой символ», то искать «фрагмент составного символа» в ближайшей окрестности).

Экспериментальные исследования с рукописными текстами показали, что на данный момент надежность распознавания составляет 70 % при среднем качестве носителя информации.

4. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. – М. : Мир, 1977.

5. Заде Л. А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем // Новости Искусственного Интеллекта. – 2001. – № 2-3. – С. 7–11.

6. Kuchuganov A. V. Recursions in Image Analysis Problems // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – Vol. 19. – No. 3. – P. 501–507.

N. S. Isupov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. V. Kuchuganov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Graph Theory Application in Handwriting Recognition Task

The paper describes a new method of joined-up handwriting recognition based on application of fuzzy graphs to describe objects and beam graphs to analyze texts.

**Key words:** recognition, fuzzy logic, fuzzy graph, handwriting, standard reference node, pattern.