

# Система автоматического опознавания знаков геометрических фигур

Дмитрий Валерьевич Шевцов  
Донецкий национальный университет  
Донецк, Украина

## Резюме

Данная работа посвящена разработке автоматической системы опознавания знаков планиметрических фигур. Приведены модели опознаваемых объектов как конструктивные определения знаков геометрических фигур в терминах свойств дискретных множеств атомарных элементов. Заведены понятия подобия и равновеликости знаков в дискретных представлениях, позволяющие осуществлять процедуры опознавания и сравнения знаков. Представлена функциональная схема разработанной системы опознавания, описаны блоки, ее реализующие и результаты функционирования системы.

*Ключевые слова:* распознавание, опознавание, моделирование, атомарный элемент, дискретные множества.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Как следует из ряда литературных источников, в настоящее время при проектировании систем автоматического распознавания зрительных образов не решена проблема выявления на объектах отрезков прямых линий [1, 2] и обнаружения геометрических фигур [1-6]. Таким образом, проблема разработки автоматических распознающих систем актуальна, и одним из аспектов ее решения является выявление на изображении тех фрагментов, которые представляют собой геометрические объекты – отрезки, углы, дуги, треугольники, ромбы, квадраты и пр. [3-6].

Современные подходы к решению указанной проблемы основаны, как правило, на заведении эталонов и, как следствие, мер близостей объектов, что влечет за собой необходимость эмпирико-статистического установления пороговых значений. При этом для описания объектов опознавания используются абстрактные аналитические понятия (например, «точка», «отрезок прямой», «окружность» и прочие), заданные во всюду плотных пространствах при помощи соответствующих уравнений и их систем, что не соответствует внутреннему представлению видеoinформации в современных ЭВМ. Использование эталонов, мер близости, пороговых значений, а также абстрактной аналитики, не отражающих свойств концептов знаков опознаваемых объектов, зачастую неприменимо для множества практических задач, связанных, в частности, с автоматической интерпретацией изображений и их частей [1-4]. В силу указанных причин предложен принципиально новый подход к решению задачи опознавания знаков на примере знаков планиметрических фигур [7, 8]. На его основе разработана система автоматического опознавания указанных знаков, описанию которой посвящена данная работа.

## 2. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОПознаВАНИЯ НА

## ПРИМЕРЕ ПЛАНИМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР

В работах [7, 8] взамен моделирования объектов опознавания, в частности, планиметрических фигур, во всюду плотных пространствах при помощи абстрактных математических понятий предложено моделирование знаков на дискретном множестве атомарных элементов (АЭ) в терминах свойств его подмножеств. Для этого введены понятия собственно АЭ и конечного множества АЭ; дано определение знака как объекта исследования в задаче опознавания [9]. Заведение метрики и мер на множестве АЭ, а также исследования свойств основных его подмножеств позволили сгенерировать конструктивное определение D-отрезка прямой в терминах свойств дискретных множеств как аналога соответствующего объекта, заданного аналитическим уравнением во всюду плотном пространстве [10].

На основании данного определения для моделирования объектов опознавания на примере планиметрических фигур ведем ряд понятий на множестве АЭ, являющихся аналогами параллельности и перпендикулярности отрезков, заданных во всюду плотном пространстве; определим D-углы и ведем классификацию последних. Понятие параллельности в дальнейшем послужит основой как для установления относительных характеристик опознаваемых знаков, так и для определения в терминах свойств множества АЭ знаков D-квадрата, D-прямоугольника, D-ромба и прочих, а также будет основополагающим для свойства подобия знаков в дискретных представлениях.

**Определение 1.** Два D-отрезка  $ab = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{h=1}^{n_k}\}$ ,  $cd = \{(\alpha_r^t, \alpha_{r+1}^t)_{r=1}^{n_t}\}$ , будем называть *параллельными* и обозначать  $ab \parallel cd$ , если выполнено одно из условий:

1)  $|\max\{|i_u^k - i_u^t|, |j_u^k - j_u^t|\} - \max\{|i_{u+1}^k - i_{u+1}^t|, |j_{u+1}^k - j_{u+1}^t|\}| \leq 1$ , где  $u = \overline{1, \min\{n_k, n_t\}}$ ,  $(i_u^k, j_u^k)$ ,  $(i_{u+1}^k, j_{u+1}^k)$ ,  $(i_u^t, j_u^t)$ ,  $(i_{u+1}^t, j_{u+1}^t)$

– индексы АЭ  $\alpha_u^k, \alpha_{u+1}^k \in \Lambda(ab)$ ,  $\alpha_u^t, \alpha_{u+1}^t \in \Lambda(cd)$  соответственно;

2)  $|\max\{|i_u^k - \tilde{i}_u^t|, |j_u^k - \tilde{j}_u^t|\} - \max\{|i_{u+1}^k - \tilde{i}_{u+1}^t|, |j_{u+1}^k - \tilde{j}_{u+1}^t|\}| \leq 1$ , где  $u = \overline{1, \min\{n_k, n_t\}}$ ,

$(i_u^k, j_u^k)$ ,  $(i_{u+1}^k, j_{u+1}^k)$ ,  $(\tilde{i}_u^t, \tilde{j}_u^t)$ ,  $(\tilde{i}_{u+1}^t, \tilde{j}_{u+1}^t)$  – индексы АЭ  $\alpha_u^k, \alpha_{u+1}^k \in \Lambda(ab)$ ,  $\tilde{\alpha}_u^t, \tilde{\alpha}_{u+1}^t \in \Lambda(\varphi(cd))$  соответственно.

Конструктивизм предложенного определения предполагает возможность его использования для опознавания знаков с установлением их относительных характеристик, автоматической генерации знаков параллельных D-отрезков, моделирования сложных знаков на множестве АЭ и декомпозиции последних при опознавании.

Следующим основополагающим понятием аналитической геометрии, дискретный аналог которого играет важную роль при моделировании и последующем опознавании знаков, является перпендикулярность. Для его заведения определим преобразование *параллельного переноса* знака как одновременное увеличение индексов  $(i_h, j_h)$  всех АЭ, его составляющих, на одни и те же заданные величины  $p, q$  соответственно, которые назовем *коэффициентами переноса*.

Пусть даны два D – отрезка  $ab$  и  $cd$ . Построим D-отрезок  $b'a'$ , полученный из  $ab$  параллельным переносом с коэффициентами  $p_1=i_a-i_b, q_1=j_a-j_b$  и D-отрезок  $ad'$ , полученный из  $cd$  параллельным переносом с коэффициентами  $p_2=i_a-i_c, q_2=j_a-j_c$ . Данную конструкцию назовём *abcd-торцом* (рис. 1).

**Определение 2.** Два заданных D-отрезка  $ab$  и  $cd$  будем называть *перпендикулярными* и обозначать  $ab \perp cd$ , если для построенного на их основании *abcd-торца* выполнено условие  $|\max\{|i_b-i_{d'}|, |j_b-j_{d'}|\} - \max\{|i_c-i_{d'}|, |j_c-j_{d'}|\}| \leq 1$ .

Представленные определения параллельности, перпендикулярности D-отрезков конструктивны и позволяют реализовать алгоритмы проверки соответствующих характеристик взаимного расположения опознаваемых знаков в рамках системы опознавания знаков.

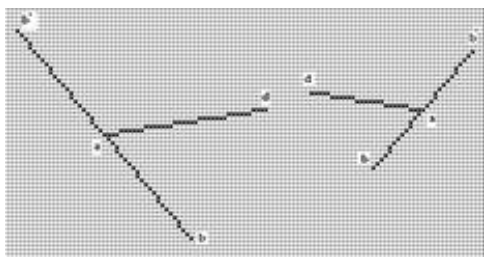


Рис. 1. Примеры abcd-торцов

Следующий класс знаков предполагает наличие общих или связанных АЭ у различных рассматриваемых D-отрезков. К нему относятся D-углы, D-торцы и пересекающиеся D-отрезки.

**Определение 3.** Будем говорить, что знак  $U_D \subset A$  является *D-углом*, если он представим в виде  $U_D = \Lambda(ab) \cup \Lambda(bc)$ , где  $ab, bc$  – пара D-отрезков. Обозначать D-угол будем  $\angle abc$ .

Аналогичным образом определим понятия пересекающихся D-отрезков и D-торца.

**Определение 4.** Знак  $R_D \subset A$  будем называть *пересечением* двух D-отрезков  $ab$  и  $cd$ , если он представим в виде  $R_D = \Lambda(ab) \cup \Lambda(cd)$  и  $\exists \alpha_h \in \Lambda(ab), \alpha_h \neq \alpha_a, \alpha_h \neq \alpha_b, \exists \alpha_t \in \Lambda(cd), \alpha_t \neq \alpha_c, \alpha_t \neq \alpha_d: \alpha_h = \alpha_t$ , или АЭ  $\alpha_h$  и  $\alpha_t$  связаны, то есть  $\eta(\alpha_h, \alpha_t) = s_m, m \in M$ .

**Определение 5.** Знак  $R_D \subset A$  назовем *D-торцом*, если  $R_D = \Lambda(ab) \cup \Lambda(cd)$ , где  $ab, cd$  – D-отрезки, и выполнено одно из условий:

- 1)  $\exists \alpha_t \in \Lambda(cd): \alpha_a = \alpha_t$  или  $\alpha_a, \alpha_t$  связаны:  $\eta(\alpha_a, \alpha_t) = s_m, m \in M$ , при этом  $\exists \alpha_h \in \Lambda(cd): \alpha_b = \alpha_t$  или  $\eta(\alpha_b, \alpha_t) = s_m, m \in M$ ;
- 2)  $\exists \alpha_t \in \Lambda(cd): \alpha_b = \alpha_t$  или  $\alpha_b, \alpha_t$  связаны:  $\eta(\alpha_b, \alpha_t) = s_m, m \in M$ , при этом  $\exists \alpha_h \in \Lambda(cd): \alpha_a = \alpha_t$  или  $\eta(\alpha_a, \alpha_t) = s_m, m \in M$ ;
- 3)  $\exists \alpha_t \in \Lambda(ab): \alpha_c = \alpha_t$  или  $\alpha_c, \alpha_t$  связаны:  $\eta(\alpha_c, \alpha_t) = s_m, m \in M$ , при этом  $\exists \alpha_h \in \Lambda(ab): \alpha_d = \alpha_t$  или  $\eta(\alpha_d, \alpha_t) = s_m, m \in M$ ;

4)  $\exists \alpha_t \in \Lambda(ab): \alpha_d = \alpha_t$  или  $\alpha_d, \alpha_t$  связаны:  $\eta(\alpha_d, \alpha_t) = s_m, m \in M$ , при этом  $\exists \alpha_h \in \Lambda(ab): \alpha_c = \alpha_t$  или  $\eta(\alpha_c, \alpha_t) = s_m, m \in M$ .

Проведём дифференциацию D-углов на прямые, острые и тупые в терминах свойств множеств АЭ.

**Определение 6.** Будем говорить, что D-угол  $\angle abc$  является *прямым*, если  $ab \perp ac$ , то есть D-отрезки  $ab$  и  $ac$  перпендикулярны.

Для заданного D-угла  $\angle abc$  построим *abcd-торец*, осуществив параллельный перенос D-отрезка  $ab$  в D-отрезок  $ad$  с коэффициентами  $p=i_a-i_b, q=j_a-j_b$ . На основании данной конструкции определим понятия острого и тупого D-угла.

**Определение 7.** Будем считать D-угол  $\angle abc$  *острым*, если для сформированного на его основе *abcd-торца* выполнено  $\max\{|i_c-i_{d'}|, |j_c-j_{d'}|\} - \max\{|i_b-i_{d'}|, |j_b-j_{d'}|\} > 1$ , и *тупым*, если  $\max\{|i_c-i_{d'}|, |j_c-j_{d'}|\} - \max\{|i_b-i_{d'}|, |j_b-j_{d'}|\} > 1$ .

Представленные конструктивные определения 1-7 позволяют опознавать соответствующие знаки, заданные на множестве АЭ, устанавливая их относительные характеристики, а также осуществлять их автоматическую генерацию.

На основании описанных понятий генерируются конструктивные определения выпуклых геометрических объектов.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫПУКЛЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ В ДИСКРЕТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ. РАВНОВЕЛИКОСТЬ И ПОДОБИЕ ЗНАКОВ

На основании заведённых понятий параллельности, перпендикулярности, D-углов различных типов, D-торца и пересекающихся D-отрезков, определим в терминах свойств дискретного множества АЭ D-треугольники и выпуклые D-четырёхугольники различных типов, а также правильные выпуклые D-многоугольники.

**Определение 8.** Знак  $T_D \subset A$  будем называть *D-треугольником*, если он может быть представлен в виде  $T_D = \Lambda(ab) \cup \Lambda(bc) \cup \Lambda(ca)$  так, что  $\Lambda(ab) \cap \Lambda(bc) = \alpha_b, \Lambda(ab) \cap \Lambda(ca) = \alpha_a, \Lambda(bc) \cap \Lambda(ca) = \alpha_c$ , где  $ab, bc, ca$  – D-отрезки,  $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c \in A$ .

Знак  $T_D$ , являющийся D-треугольником, будем обозначать  $\Delta abc$ .

Если в  $\Delta abc$  какая-либо пара из образующих его D-отрезков  $ab, bc$  и  $ca$  является прямым D-углом согласно определению 6, данный знак будем полагать *прямоугольным D-треугольником*; если среди указанных D-отрезков существуют два, образующие тупой D-угол, будем полагать  $\Delta abc$  *тупоугольным*. В противном случае будем говорить, что  $\Delta abc$  является *остроугольным* D-треугольником. Примеры различных D-треугольников приведены на рис. 2.

В рамках предложенного определения будем полагать, что  $\Delta abc$  *равносторонний*, если  $\mu_1(ab) = \mu_1(bc) = \mu_1(cd)$  и  $\mu_2(ab) = \mu_2(bc) = \mu_2(cd)$ . В том случае, если для  $\Delta abc$  выполнено одно из условий:

- 1)  $\mu_1(ab) = \mu_1(bc)$  и  $\mu_2(ab) = \mu_2(bc)$ ;
- 2)  $\mu_1(ab) = \mu_1(cd)$  и  $\mu_2(ab) = \mu_2(cd)$ ;
- 3)  $\mu_1(bc) = \mu_1(cd)$  и  $\mu_2(bc) = \mu_2(cd)$ ;

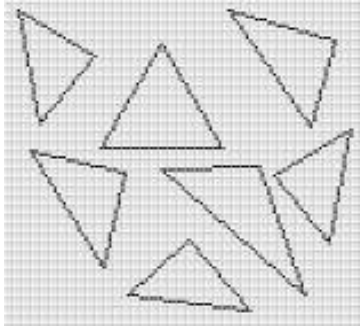


Рис. 2. D-треугольники различных типов на множестве АЭ

данный D-треугольник назовем *равнобедренным*.

При проектировании системы технического зрения, одной из задач которой является опознавание знаков геометрических фигур, заданных в дискретных представлениях, актуальна проблема выявления знаков, соответствующих выпуклым геометрическим фигурам, заданным во всюду плотных пространствах. Согласно этому, предложено следующее определение выпуклости знаков в терминах свойств множества АЭ.

**Определение 9.** Произвольный знак  $\hat{A} \subset A$ ,  $\hat{A} = \{(\alpha_h, \alpha_{h+1})_{m_h}\}_{h=1}^n$ ,  $m_h \in M$ , будем называть *выпуклым*, если он является замкнутым путем и выполнено  $\forall \alpha_h \in \Lambda(\hat{A})$ ,  $h = \overline{1, n-1}$

$\text{sign}(\frac{i_{h+2} - i_{h+1} - j_{h+2} - j_{h+1}}{i_h - i_{h+1} \quad j_h - j_{h+1}}) \in \{C_1, 0\}$ ;  
 $\text{sign}(\frac{i_1 - i_{n+1} - j_1 - j_{n+1}}{i_n - i_{n+1} \quad j_n - j_{n+1}}) \in \{C_1, 0\}$ , где значение  $C_1$  постоянно и равно 1 или -1.

Определение выпуклости знака на множестве АЭ позволяет на этапе опознавания автоматически определять, может ли заданный знак являться D-многоугольником или нет.

На основании понятия выпуклости знаков дадим ряд определений D-четырёхугольников, заданных в терминах свойств множества АЭ, и осуществим их классификацию в соответствии с аналитически заведенными аналогами во всюду плотных пространствах.

**Определение 10.** Выпуклый знак  $C_D \subset A$  будем называть *D-четырёхугольником*, если он представим в виде  $C_D = \Lambda(ab) \cup \Lambda(bc) \cup \Lambda(cd) \cup \Lambda(da)$ , где  $ab, bc, cd$  и  $da$  – D-отрезки, и выполнены условия:

- 1)  $\Lambda(ab) \cap \Lambda(da) = \alpha_a$ ,  $\Lambda(ab) \cap \Lambda(bc) = \alpha_b$ ,
- 2)  $\Lambda(bc) \cap \Lambda(cd) = \alpha_c$ ,  $\Lambda(cd) \cap \Lambda(da) = \alpha_d$ ,
- 3) ни одна из всех возможных пар D-отрезков  $ab, bc, cd, da$  не образует пересечения в смысле определения 4.

Условимся обозначать выпуклые D-четырёхугольники  $abcd$ . При этом АЭ  $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$  будем называть *вершинами* четырёхугольника, образующие его D-отрезки – *сторонами*. В рамках данного определения стороны, имеющие общие АЭ, положим *соседними*, не имеющих таковых – *противолежащими*. Аналогично вершины, принадлежащие одной стороне, назовем *соседними*, не принадлежащие одной стороне – *противолежащими*.

В рассматриваемом случае D-отрезки  $ab$  и  $cd, bc$  и  $da$  являются парами противоположащих сторон четырёхугольника, АЭ  $\alpha_a$  и  $\alpha_d, \alpha_b$  и  $\alpha_c$  – парами противоположащих вершин. D-отрезки  $ab$  и  $bc, c$  к примеру, – соседние стороны, АЭ  $\alpha_a$  и  $\alpha_b, \alpha_c$  и  $\alpha_d$  – пары соседних вершин.

При рассмотрении дальнейшего материала будем полагать каждый из рассматриваемых D-четырёхугольников выпуклым.

Разобьем множество выпуклых D-четырёхугольников на 5 основных классов: D-параллелограммы, D-прямоугольники, D-ромбы, D-квадраты и D-трапеции, предложив конструктивные определения каждого из них в терминах свойств множеств АЭ.

**Определение 11.** D-четырёхугольник  $abcd$  будем называть *D-параллелограммом*, если его противоположащие стороны параллельны.

**Определение 12.** Будем говорить, что D-параллелограмм является *D-ромбом*, если  $\mu_1(ab) = \mu_1(bc) = \mu_1(cd) = \mu_1(da)$ ,  $\mu_2(ab) = \mu_2(bc) = \mu_2(cd) = \mu_2(da)$ .

**Определение 13.** D-параллелограмм будем называть *D-прямоугольником*, если каждая пара его соседних сторон образует прямой D-угол в силу определения 6.

**Определение 14.** *D-квадратом* будем называть такой D-прямоугольник, для которого  $\mu_1(ab) = \mu_1(bc) = \mu_1(cd) = \mu_1(da)$ ,  $\mu_2(ab) = \mu_2(bc) = \mu_2(cd) = \mu_2(da)$ .

**Определение 15.** *D-трапецией* будем называть D-четырёхугольник, у которого единственная пара противоположащих сторон параллельна.

В соответствии с предложенными определениями выпуклых D-четырёх- угольников процесс опознавания соответствующих знаков сводится к проверке описанных условий и понятий.

В завершение настоящего подраздела дадим определение произвольного выпуклого D-многоугольника.

**Определение 16.** Выпуклый знак  $N_n \subset A$  будем называть *выпуклым D-n-угольником*, если:

- 1)  $N_n$  может быть представлен в виде объединения  $n$  D-отрезков, не имеющих общих АЭ, кроме начальных и конечных пунктов;
- 2) на  $N_n$  можно указать замкнутый путь.

На основании данного определения может быть сгенерировано определение любого выпуклого D-многоугольника, в том числе правильного, с целью дальнейшего его использования для опознавания знаков.

Определив знаки множества геометрических фигур в терминах свойств дискретного множества АЭ и установив ряд относительных характеристик для D-отрезков, заведём на указанном множестве понятия подобия и равновеликости знаков.

Равновеликость знаков в терминах свойств дискретного множества АЭ определим на основании введенных ранее в [9, 10] мер  $\mu_1, \mu_2$ . Следует учесть, что знаки могут быть равновеликими лишь в том случае, когда они принадлежат одному типу знаков геометрических фигур, определенных выше на множестве АЭ.

**Определение 17.** Два знака  $\hat{A}_1, \hat{A}_2 \subset A$ :  $\hat{A}_1 = \bigcup_{t=1}^T (a_t b_t)$ ,

$\hat{A}_2 = \bigcup_{r=1}^T (c_r d_r)$ , где  $(a_t b_t), (c_r d_r), t, r \in [1, T]$  – D-отрезки, будем

называть *равновеликими*, если они принадлежат одному типу геометрических D-объектов и выполнены условия:

- 1)  $\forall (a_t b_t) \in \hat{A}_1, t \in \overline{1, T}, \exists (c_r d_r) \in \hat{A}_2, r \in [1, T]$ :  
 $\mu_1((a_t b_t)) = \mu_1((a_r b_r)), \mu_2((a_t b_t)) = \mu_2((a_r b_r))$ ;

$$2) \quad \forall (c_r d_r) \in \hat{A}_2 \quad r = \overline{1, T}, \quad \exists (a_t b_t) \in \hat{A}_1, \quad t \in [1, T]: \\ \mu_1((a_r b_r)) = \mu_1((a_t b_t)), \quad \mu_2((a_r b_r)) = \mu_2((a_t b_t)).$$

Из определения 17 следует, что два знака одного типа равновелики, если для каждой стороны одного из них существует сторона другого знака, меры  $\mu_1$  и  $\mu_2$  которых совпадают, и наоборот.

Определение подобных знаков, каждый из которых представим в виде объединения некоторого числа D-отрезков, аналогично вышеприведенному определению понятия равновеликости и имеет следующий вид.

**Определение 18.** Два знака  $\hat{A}_1, \hat{A}_2 \subset A$ ,  $\hat{A}_1 = \bigcup_{t=1}^T (a_t b_t)$ ,

$$\hat{A}_2 = \bigcup_{r=1}^T (c_r d_r), \quad \text{где } (a_t b_t), (c_r d_r), t, r \in [1, T] - \text{D-отрезки, будем}$$

называть *подобными*, если они принадлежат одному типу геометрических D-объектов и выполнены условия:

$$1) \quad \forall (a_t b_t) \in \hat{A}_1, \quad t = \overline{1, T}, \quad \exists (c_r d_r) \in \hat{A}_2, \quad r \in [1, T]: \\ a_t b_t \parallel a_r b_r;$$

$$2) \quad \forall (c_r d_r) \in \hat{A}_2 \quad r = \overline{1, T}, \quad \exists (a_t b_t) \in \hat{A}_1, \quad t \in [1, T]: \\ a_r b_r \parallel a_t b_t.$$

Понятия подобия и равновеликости знаков конструктивны и позволяют как опознавать знаки с установлением их относительных характеристик, так и автоматически генерировать знаки заданного типа, обладающие некоторым априорно указанным свойством.

Заведенные понятия выполнены как для знаков D-углов, D-треугольников, выпуклых D-четырёхугольников различных типов, а также D-многоугольников, определенных ранее, так и для знаков произвольной природы, которые образованы D-отрезками прямых.

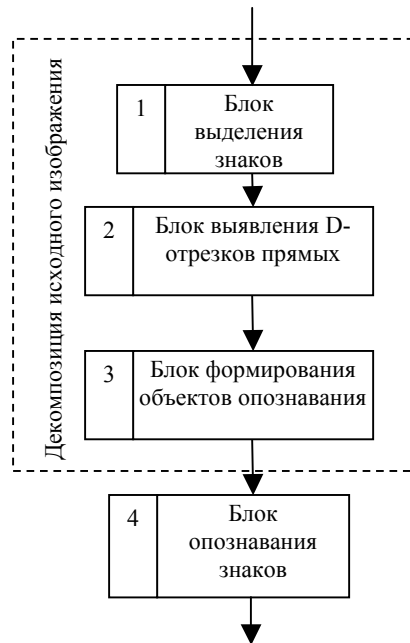
Представленные конструктивные определения знаков геометрических фигур и их относительных характеристик позволяют разрабатывать математические модели опознаваемых системой объектов. После этого осуществляется их декомпозиция, опознавание и интерпретация. Следующий пункт содержит функциональную схему автоматической системы опознавания знаков на примере планиметрических фигур, реализованной в соответствии с разработанными теоретическими основами моделирования знаков на дискретных множествах [7, 8] и использующей предложенные математические модели различных знаков D-геометрических фигур.

## 4. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ОПознаВАНИЯ ЗНАКОВ ПЛаниМетрических фигур

Основу идеи метода разработки системы опознавания знаков составляют представленные конструктивные математические модели знаков геометрических объектов. Использование указанных моделей не предполагает реализацию процедур распознавания, а сводится к проверке соответствующих определений на выявленных знаках обрабатываемого изображения. Таким образом, исходное изображение первоначально должно быть представлено в виде множества знаков с последующей декомпозицией каждого из них на элементарные составляющие – D-отрезки прямых [10]. На следующем этапе по некоторым правилам необходимо сформировать допустимые

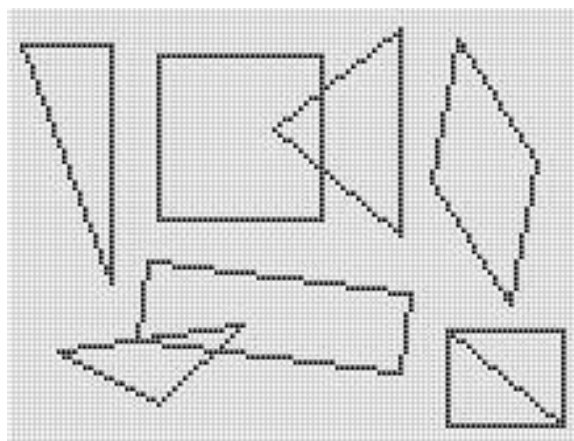
комбинации связанных D-отрезков прямых с целью их дальнейшего опознавания. Процедура опознавания тогда сводится к дифференциации полученных комбинаций D-отрезков по их количеству с последующей проверкой истинности соответствующих определений.

Функциональная блок-схема разработанного метода автоматического опознавания представлена на рис. 3. Рассмотрим более детально функции, которые реализует каждый из блоков.



**Рис. 3.** Функциональная схема метода автоматического опознавания знаков объектов технологических процессов

Блок выделения знаков (см. рис. 3, блок 1). Обрабатываемое изображение поступает в систему автоматического опознавания, как множество АЭ, причем знаки опознаваемых объектов и их комбинаций представлены на этом множестве активными атомарными элементами [10] (рис. 4).



**Рис. 4.** Пример обрабатываемого изображения

Очевидно, что процедуру опознавания (см. рис. 3, блок 4) целесообразно применять к конкретному знаку, а не опознавать все изображение в целом в силу неограниченной вариативности последних, составленных, в частности, из одних и тех же знаков.

Таким образом, на первом этапе функционирования системы опознавания необходимо изображение

представить в виде множества связанных подмножеств активных АЭ, причем так, чтобы ни одна пара указанных подмножеств не была связанной. Указанная процедура реализуется в блоке выделения знаков (см. рис. 3, блок 1). Пример выделения знаков представлен на рис. 5.

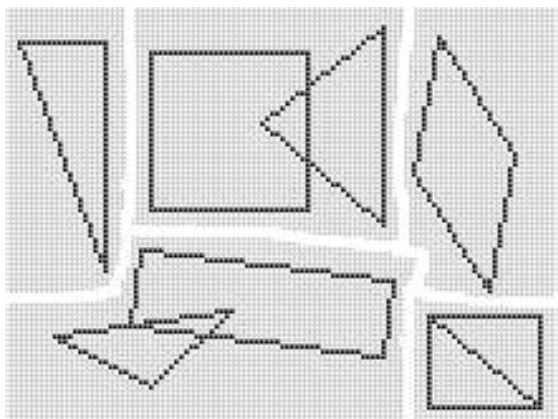


Рис. 5. Результат работы блока выделения знаков (см. рис. 3)

Блок выявления D-отрезков прямых (см. рис. 3, блок 2). В данном блоке осуществляется обработка каждого из знаков, выделенных в блоке 1 (см. рис. 3). Не ограничивая общности изложения метода, дальнейшие рассуждения проведем для одного знака (рис. 6).

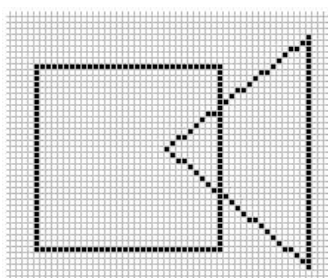


Рис. 6. Пример знака, обрабатываемого в блоке 2 (см. рис. 3)

В соответствии с изложенной идеей метода, процедуры опознавания в блоке 4 (см. рис. 3) сводятся к проверке определений объектов опознавания, данных в терминах свойств множеств активных АЭ. При этом соответствующая объектам математическая модель в своей основе содержит D-отрезки прямых в качестве элементарной составляющей. Конкретные комбинации D-отрезков соответствуют, в частности, знакам объектов опознавания.

Таким образом, в блок 4 (см. рис. 3) знак целесообразно передавать в виде строго определенной комбинации D-отрезков прямых.

Блок выявления D-отрезков прямых призван декомпозировать обрабатываемый знак на искомые элементарные составляющие. Пример результатов функционирования блока 2 (см. рис. 3) приведен на рис. 7.

Блок формирования объектов опознавания (см. рис. 3, блок 3). Как указано ранее, опознаваемые блоком 4 (см. рис. 3) знаки объектов технологического процесса могут быть наложены друг на друга, образуя единые связанные множества. На основании результатов декомпозиции каждого из них на D-отрезки прямых следует сформировать всевозможные допустимые комбинации элементарных

составляющих знаков. В таком случае в блок 4 будут передаваться указанные комбинации D-отрезков, соответствующие искомым знакам опознаваемых объектов.

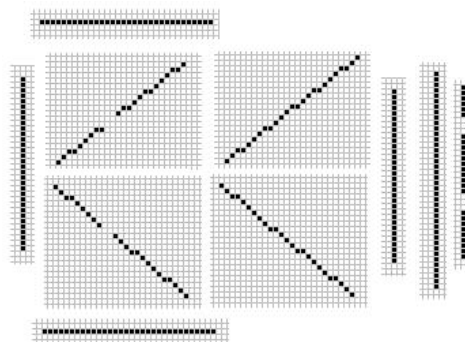


Рис. 7. Элементарные составляющие обрабатываемого знака

Далее, в соответствии с вышеизложенной идеей метода (см. рис. 3), для каждого из них осуществляются процедуры проверки соответствия математической модели.

Блок формирования объектов опознавания из полученных в результате декомпозиции обрабатываемого знака D-отрезков прямых генерирует все возможные допустимые их комбинации. На рис. 8 показаны результаты работы блока 3 (см. рис. 3) для выбранного знака.

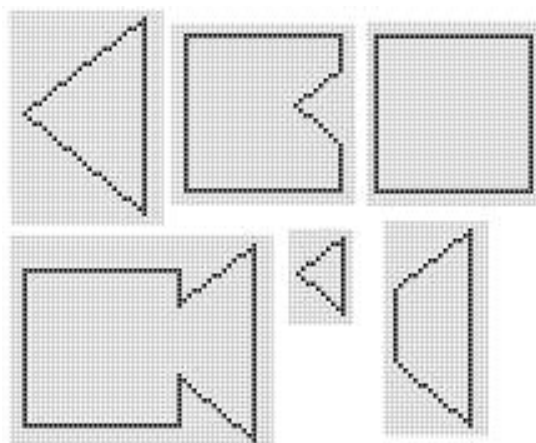


Рис. 8. Комбинации D-отрезков, составляющих обрабатываемый знак

Блок опознавания знаков (см. рис. 3, блок 4). Согласно идее разрабатываемого метода проектирования систем автоматического опознавания, знаки объектов опознавания и их комбинаций подлежат декомпозиции, реализуемой блоками 1-3 (см. рис. 3), с последующим их опознаванием. Представленные блоком 3 допустимые комбинации D-отрезков, выявленных на обрабатываемом системой знаке, являются собственно объектами опознавания.

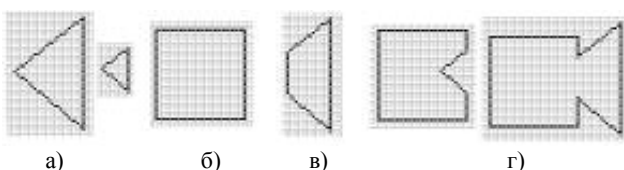


Рис. 9. Результаты опознавания объектов технологического процесса, выявленных на знаке: а) остроугольные D-треугольники; б) D-квадрат; в) D-трапеция; г) невыпуклые D-четырёхугольники

Задача блока опознавания заключается в дифференциации указанных комбинаций по количеству входящих в них D-отрезков и дальнейшей проверке выполнения условий конструктивных определений знаков, представленных выше. Результаты функционирования данного блока проиллюстрированы на рис. 9.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного теоретического материала разработана автоматическая система опознавания знаков геометрических фигур. Система программно реализована на языке Object Pascal в среде Borland Delphi ver. 4.5 в рамках операционной системы Windows'98.

В качестве объектов опознавания использовались: D-отрезки; перпендикулярные и неперпендикулярные D-отрезки; D-торцы; прямые, острые и тупые D-углы; равносторонние D-треугольники; равнобедренные и неравнобедренные прямоугольные, остроугольные и тупоугольные D-треугольники; произвольные выпуклые D-четырёхугольники, D-квадраты, D-ромбы, D-прямоугольники, D-параллелограммы, D-трапеции, произвольные невыпуклые D-четырёхугольники; произвольные выпуклые и невыпуклые замкнутые знаки.

Результаты апробации системы опознавания показали 99,8% правильного опознавания исходных изображений и их комбинаций, что выгодно отличает данную систему от современных аналогов и подтверждает практическую значимость проведенных теоретических исследований.

## 6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
- [2] Хорн Б.К.П. Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
- [3] Романова Т.Е., Магдалина И.В. Полный класс поверхностей 0-уровня Ф-функции множеств с границей – окружность или прямоугольник // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 1(10). – С. 43-46.
- [4] Носов Л.В., Рабинович Е.Б., Фейнберг В.З. Алгоритм определения взаиморасположения плоских геометрических фигур // Теория и методы автоматизации проектирования. – Минск, 1979. – С. 64-71.

[5] Машницкий Я.А. Распознавание геометрических образов с помощью нейронных сетей // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии». – Винница: ВГТУ, 2001. – С. 51.

[6] Білан С.М., Салім А.-З. Розпізнавання вільно орієнтованих плоских фігур в середовищі клітинних аперіодичних нейроавтоматів // Оптикоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 1. – С. 161-168.

[7] Мышко С.В., Шевцов Д.В., Шевчук Е.В. К вопросу об опознавании знаков в дискретных представлениях // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Вычислительная техника в информационных и управляющих системах». – Мариуполь: ПГТУ, 2000. – С. 77-78.

[8] Шевцов Д.В., Шевчук Е.В., Мышко С.В. Метод формирования концептов знака // Праці наукової конференції Донецького національного університету за підсумками науково-дослідної роботи за період 1999-2000 рр. (Секція фізичних і комп'ютерних наук). – Донецьк, 2001. – С. 121-125.

[9] Мишко С.В., Шевцов Д.В. Визначення найкоротших шляхів на множині атомарних елементів в системах автоматичної обробки зображень // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки. – Донецьк: ДонНУ, 2001. – №2. – С. 334-341.

[10] Шевцов Д.В., Мышко С.В. Конструктивное определение прямой в терминах свойств множеств атомарных элементов // Праці наукової конференції Донецького національного університету за підсумками науково-дослідної роботи за період 1999-2000 рр. (Секція фізичних і комп'ютерних наук). – Донецьк, 2001. – С. 99-103.

## Об авторе

Дмитрий Валерьевич Шевцов, аспирант Донецкого национального университета.

E-mail's: [dmitri\\_s@rambler.ru](mailto:dmitri_s@rambler.ru),  
[tsu@matfak.dongu.donetsk.ua](mailto:tsu@matfak.dongu.donetsk.ua)