

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 введем ряд понятий на множестве АЭ, являющихся аналогами параллельности и перпендикулярности отрезков, заданных во всюду плотном пространстве; определим D-углы и введем 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:

$$1) |\max\{|i_u^k - i_{u+1}^k|, |j_u^k - j_{u+1}^k|\} - \max\{|i_{u+1}^t - i_{u+2}^t|, |j_{u+1}^t - j_{u+2}^t|\}| \leq 1, \text{ где } u = \overline{1, \min\{n_k, n_t\}}, (i_u^k, j_u^k), (i_{u+1}^k, j_{u+1}^k), (i_{u+1}^t, j_{u+1}^t), (i_{u+2}^t, j_{u+2}^t) -$$

индексы АЭ $\alpha_u^k, \alpha_{u+1}^k \in \Lambda(ab)$, $\alpha_{u+1}^t, \alpha_{u+2}^t \in \Lambda(cd)$ соответственно;

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

$(i_u^k, j_u^k), (i_{u+1}^k, j_{u+1}^k), (\tilde{i}_u^t, \tilde{j}_u^t), (\tilde{i}_{u+1}^t, \tilde{j}_{u+1}^t) -$ 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 $|\max\{|i_b-i_{d'}|, |j_b-j_{d'}|\} - \max\{|i_b-i_{d'}|, |j_b-j_{d'}|\}| \leq 1$.

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

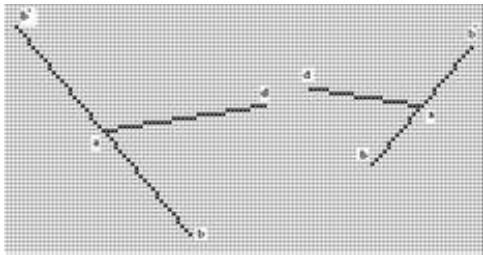


Рис. 1. Примеры abcd-торцов

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 α_h и α_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 α_a, α_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 α_b, α_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 α_c, α_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 α_d, α_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 $\max\{|i_c-i_{d'}|, |j_c-j_{d'}|\} - \max\{|i_c-i_b|, |j_c-j_b|\} > 1$, и *тупым*, если $\max\{|i_c-i_b|, |j_c-j_b|\} - \max\{|i_c-i_{d'}|, |j_c-j_{d'}|\} > 1$.

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 Δabc .

Если в Δabc 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 Δabc *тупоугольным*. В противном случае будем говорить, что Δabc является *остроугольным* D-треугольником. Примеры различных D-треугольников приведены на рис. 2.

В рамках предложенного определения будем полагать, что Δabc *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 Δabc 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 $\mu_2(bc) = \mu_2(cd)$;

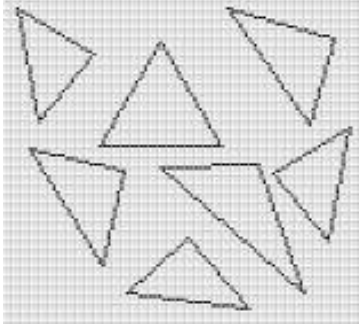


Рис. 2. D-треугольники различных типов на множестве АЭ

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 $\forall \alpha_h \in \Lambda(\hat{A})$, $h = \overline{1, n-1}$

$$\text{sign} \left(\frac{i_{h+2} - i_{h+1}}{i_h - i_{h+1}} - \frac{j_{h+2} - j_{h+1}}{j_h - j_{h+1}} \right) \in \{C_1, 0\};$$

$$\text{sign} \left(\frac{i_1 - i_{n+1}}{i_n - i_{n+1}} - \frac{j_1 - j_{n+1}}{j_n - j_{n+1}} \right) \in \{C_1, 0\}, \text{ где значение } C_1 \text{ постоянно и равно } 1 \text{ или } -1.$$

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 введенными 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 α_a и α_d, α_b и α_c – парами противоположащих вершин. D-отрезки ab и bc, c к примеру, – соседние стороны, АЭ α_a и α_b, α_c и α_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-четырёхугольников 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, на указанном множестве понятия подобия и равенности знаков.

Равновеликость знаков в терминах свойств дискретного множества АЭ определим на основании введенных ранее в [9, 10] мер μ_1, μ_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 $\hat{A}_1, \hat{A}_2 \subset A$: $\hat{A}_1 = \bigcup_{t=1}^T (a_t b_t)$,

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

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

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

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

Из определения 17 следует, что два знака одного типа равновелики, если для каждой стороны одного из них существует сторона другого знака, меры μ_1 и μ_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.

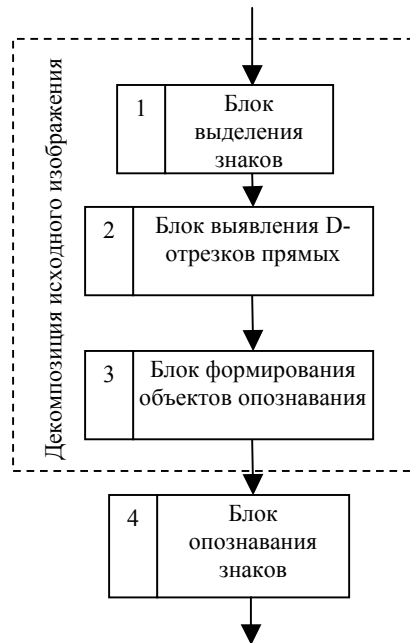


Рис. 3. Функциональная схема метода автоматического опознавания знаков объектов технологических процессов

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).

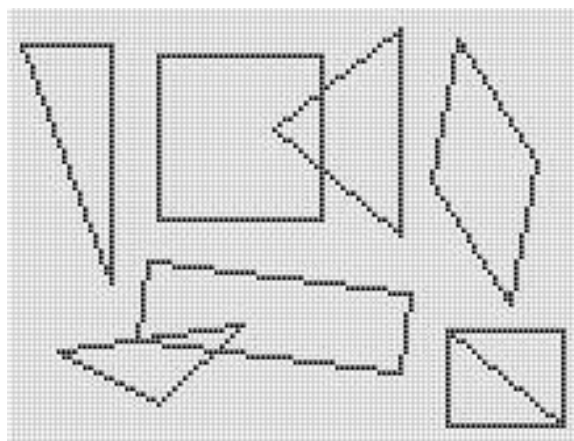


Рис. 4. Пример обрабатываемого изображения

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.

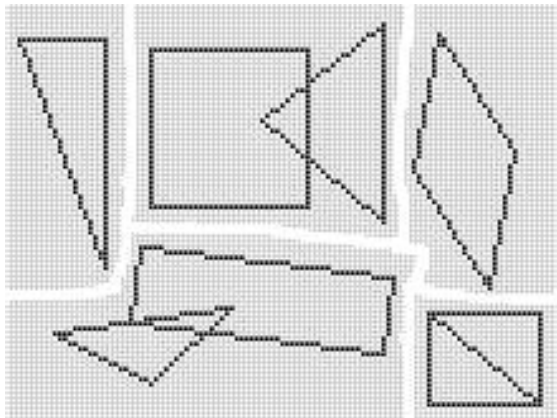


Рис. 5. Результат работы блока выделения знаков (см. рис. 3)

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).

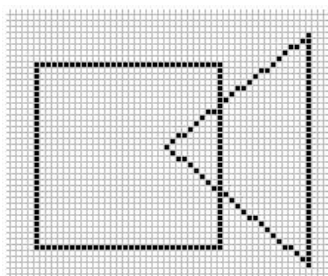


Рис. 6. Пример знака, обрабатываемого в блоке 2 (см. рис. 3)

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.

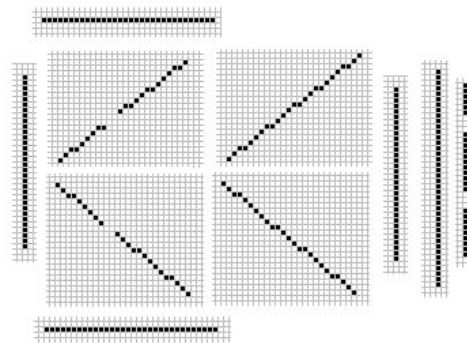


Рис. 7. Элементарные составляющие обрабатываемого знака

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.

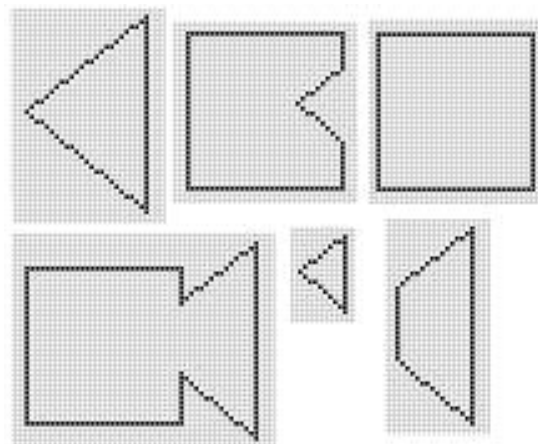


Рис. 8. Комбинации D-отрезков, составляющих обрабатываемый знак

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.

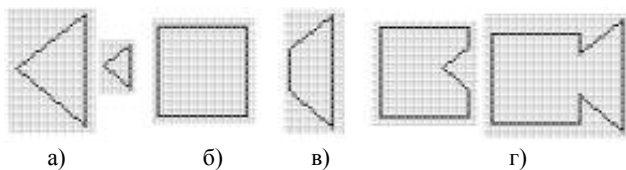


Рис. 9. Результаты опознавания объектов технологического процесса, выявленных на знаке: а) остроугольные D-треугольники; б) D-квадрат; в) D-трапеция; г) невыпуклые D-четыреугольники

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,
tsu@matfak.dongu.donetsk.ua