

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ЗНАКОВ, ПОДЛЕЖАЩИХ АВТОМАТИЧЕСКОМУ ИМЕНОВАНИЮ НА МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Автоматическое моделирование, именование и опознавание знаков цифровых бинарных изображений произвольной природы является актуальной научно-практической задачей, находящей свое приложение во многих областях внедрения информационных технологий, в частности, при обработке и анализе электронных документов. Статья посвящена конструктивному определению структурных составляющих моделируемых изображений, прошедших этап утоньшения при предварительной обработке, и их свойств, которые позволят осуществлять автоматическое выявление указанных объектов с целью последующего формирования описания именованных и распознаваемых знаков на дискретном множестве атомарных элементов.

Ключевые слова: автоматическое моделирование, цифровые бинарные изображения, распознавание, кратчайший путь.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно [1], автоматический анализ, именование и распознавание цифровых бинарных изображений произвольной природы, осуществляемые в терминах дискретного множества атомарных элементов (АЭ), предполагает, в частности, решение такой актуальной научно-практической задачи, как определение фрагментов ГТ-объектов (от англ. «generative trajectory» – «порождающие траектории») бинарных растровых цифровых изображений (РЦИ) знаков, сопоставимых со структурными элементами модели, формируемой для дальнейшего распознавания исходных объектов [2].

Данный подход аналогичен решению задачи выбора производных элементов при сегментации изображений.

Однако отличается от указанного тем, что не предполагает априорного анализа предметной области решаемой задачи распознавания и множества репрезентативных представителей классов распознаваемых объектов. В работе [3] обоснована целесообразность решения задачи сегментации в терминах свойств дискретных множеств путем приведения ее к задаче автоматической декомпозиции знаков на дискретном множестве АЭ. При этом в качестве примитивов используются конструктивно определенные кратчайшие пути (КП) [3], что предполагает возможность их автоматического выявления на ГТ-объектах [4], результирующих утоньшение исходных знаков на этапе предварительной обработки.

При этом в работе [3] отмечено, что автоматическая декомпозиция знаков с целью их последующего моделирования и именования предполагает необходимость определения различных свойств КП, учитывающих их качественные характеристики и отражающие такие свойства фрагментов знаков, как выпуклость, вогнутость и прочие [5, 6]. Настоящая работа посвящена конструк-

тивному определению указанных характеристик фрагментов ГТ-объектов знаков, используемых в дальнейшем при формировании моделей обрабатываемых системой распознавания исходных изображений. Использование предложенных понятий позволит осуществлять автоматическую декомпозицию и моделирование знаков произвольной природы на дискретном множестве АЭ с учетом свойств выявляемых КП, существенных для их различения, анализа и именования [1].

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ ГТ-ОБЪЕКТОВ ЗНАКОВ НА МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При проведении последующих рассуждений будем полагать, согласно [1–4], что автоматическому моделированию и именованию подлежат образы ГТ-объектов бинарных растровых цифровых изображений знаков произвольной природы [2]. В соответствии с [3], актуальной является проблема конструктивного определения в терминах свойств дискретного множества АЭ объектов, допускающих однозначную декомпозицию ГТ-объектов, аналогичную описанному в [1, 5] заданию множества производных элементов в рамках структурных методов распознавания.

На рис. 1 приведены примеры исходных бинарных РЦИ и множеств производных элементов, априорно заданных для каждого класса распознаваемых объектов.

В рамках сделанного в [1] предположения о том, что словарь W имен моделируемых объектов и множество B изображений знаков обучающей выборки могут быть изначально пусты, указанное задание множеств производных элементов затруднительно. С целью конструктивного определения в терминах свойств множеств АЭ минимальных составляющих автоматически формиру-

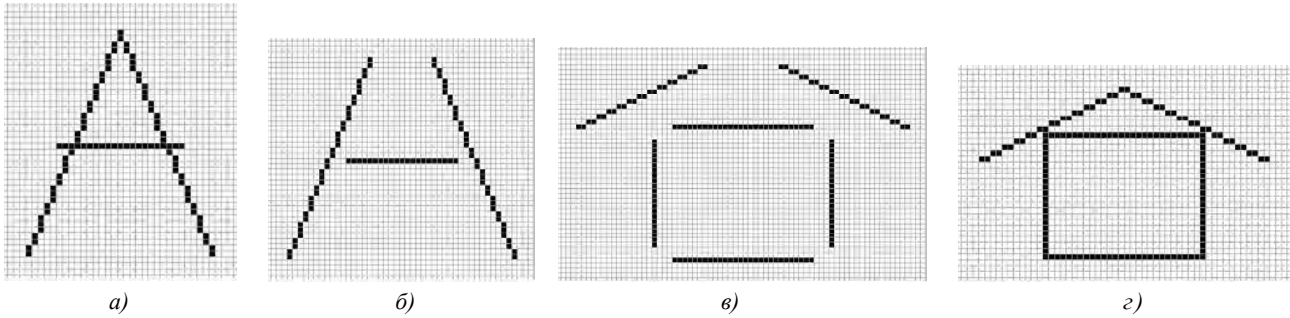


Рис. 1. Исходные растровые цифровые изображения (а, в) и традиционно используемые множества непронизводимых элементов для их моделирования (б, г)

емых математических моделей (ММ) образов ГТ-объектов именуемых знаков изображений, последующие рассуждения проведем в рамках гипотезы о способе генерации соответствующих изображений, изложенной в [2].

Будем полагать, что изображение произвольного знака открытого алфавита представляет собой визуализированный на плоскости регистрации след некоторого устройства фиксации [2], осуществляющего движения по траекториям, каждая из которых взаимно однозначно соответствует непрерывной кривой без самопересечений, заданной на подпространстве пространства E_2 , множество $M_j^i = \{f_k^{ij}(x, y) = 0\}_{k=1}^{N_{ij}}$, $i, j \in N$, которых является моделью генерируемого изображения [2].

В системах распознавания, обзор методологий проектирования которых представлен в [1], осуществляется выявление образов указанных кривых и их фрагментов, трактуемых либо как признаки [5], либо как непронизводимые элементы [6]. При этом первичным является эвристический анализ изображений обучающей выборки [1]. Следует заметить, что априорное задание множества образов кривых моделей сгенерированных изображений в общем случае проблематично [1, 5]. Также затруднительно, используя категории и объекты всюду плотных множеств [5, 6], осуществлять автоматическое выявление на анализируемых образах изображений фрагментов, однозначно либо с некоторой точностью сопоставимых с выбранными элементарными составляющими моделей [1], что негативно влияет на точность распознавания [5].

В соответствии с этим, в работах [3, 4] предложено множество образов кривых, восстановленных по образу изображения, каждый из которых соответствует единственной траектории движения регистрирующей части [2] устройства фиксации следа, осуществленного в процессе генерации, рассматривать в качестве модели изображения знака. Указанное множество образов кривых определено в [2] как ГТ-объект – модель образа изображения знака.

Согласно проведенным рассуждениям, одной из задач исследования данной работы является определение на дискретном множестве АЭ образов кривых ГТ-объекта, моделирующих траектории, порождающие исходное изображение знака [1, 2]. Для ее решения рас-

смотрим множество АЭ $A = \{\alpha_h\}_{h=1}^H$, где $\alpha_h = \alpha(i_h, j_h)$, $i_h \in \{1, 2, \dots, I\}$, $j_h \in \{1, 2, \dots, J\}$, $H = I \cdot J$ [], на котором $\forall \alpha_a, \alpha_b \in A$ введена метрика:

$$\rho(\alpha_a, \alpha_b) = |i_a - i_b| + |j_a - j_b|. \quad (1)$$

и определены четыре типа связей s_m , $m \in \hat{M} = \{1, 2, 3, 4\}$ [3].

Как показано в [2, 4], на множестве АЭ образом непрерывной кривой без самопересечений, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, является путь [3] как конечное вполне упорядоченное множество связанных

связок – $L(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h, \alpha_{h+1})_{m_h}\}_{h=1}^n$, $m_h \in \hat{M}$, где $\alpha_1 = \alpha_a$, $\alpha_{n+1} = \alpha_b$ – соответственно начальный и конечный АЭ пути, $(\alpha_h, \alpha_{h+1})_{m_h}$ – связка типа $m_h \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n}$. При этом, согласно [3], АЭ α_r , $\forall r \in \{2, 3, \dots, n\}$, имеет ровно два связанных АЭ из множества $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \{\alpha_k\}_{k=1}^{n+1}$, а АЭ α_1 и α_{n+1} – не более двух.

Таким образом, пути на множестве АЭ моделируют образы ГТ-объектов, в частности, результирующих утоньшение [2] или скелетизацию [5] образов РЦИ знаков различных алфавитов, что соответствует изложенной гипотезе о способе генерации изображений знаков и подтверждается приведенными в работах [1–4] рассуждениями.

Согласно вышесказанному, каждый путь является образом кривой без самопересечений, моделирующей траекторию движения устройства генерации следа [2]. Поскольку путь однозначно определяется парой атомарных элементов $\alpha_a, \alpha_b \in A$ и последовательностью связанных связок между ними, в работе [3] введено в рассмотрение множество $\mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b)$ всевозможных путей L_k из α_a в α_b : $\mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b) = \{L_k\}$, $k \in \{1, 2, \dots, K_0\}$, где $\forall k \in \{1, 2, \dots, K_0\}$,

$$L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}, m_h^k \in \hat{M}, h = \overline{1, n_k}.$$

Исследования свойств различных путей показали, что для произвольных $\alpha_a, \alpha_b \in A$ пути множества $\mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b)$, характеризуемые одинаковыми типами образующих их связок, в общем случае моделируют ГТ-объекты различных изображений знаков, которые не являются одноименными, как показано, в частности, на рис. 2.

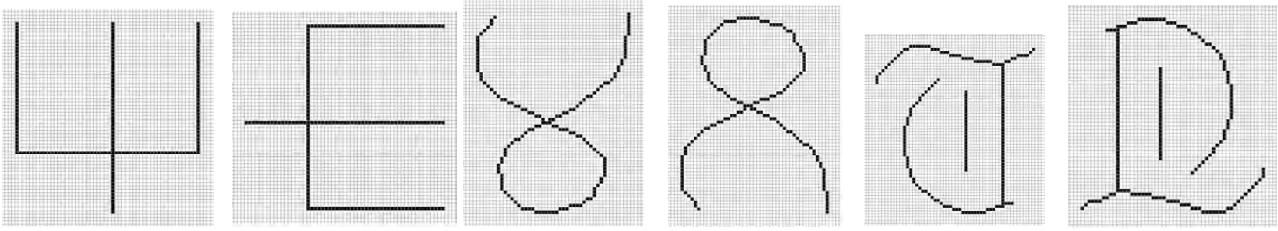


Рис. 2. Множества путей, неразличимых по типам составляющих их связей, моделирующие на множестве АЭ образы GT-объектов различных изображений знаков, не являющихся одноименными

Связки различных типов, формирующие пути, в зависимости от порядка следования, позволяют выявить фрагменты D-знаков, соответствующих исходным изображениям, характеризуемые сохранением локально-глобального направления (ЛГН) [2]. Введенные в [3] меры μ_1 и μ_2 путей, а также результаты исследований их свойств, позволили определить кратчайшие пути между парами произвольных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$, характеризуемые сохранением локально-глобального направления в целом [2, 4].

Определение 1. Путь $L(\alpha_a, \alpha_b)$ такой, что

$$\mu_2(L) = \min_{\forall L_k \in \mathfrak{Z}_1(\alpha_a, \alpha_b)} \mu_2(L_k), \quad (2)$$

называется *кратчайшим путем* от α_a к α_b (из α_a в α_b), где $\mathfrak{Z}_1(\alpha_a, \alpha_b) \subset \mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b)$ – множество путей из α_a в α_b таких, что $\forall L_k \in \mathfrak{Z}_1(\alpha_a, \alpha_b), k \in K_1$, где $K_1 \subset \{1, 2, \dots, K_0\}$ – индексное множество, выполнено $\mu_1(L_k) = \rho(\alpha_a, \alpha_b)$.

В работе [3] показано, что для произвольных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ в общем случае существует множество $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b) \subseteq \mathfrak{Z}_1(\alpha_a, \alpha_b)$ КП между ними, $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b) = \{L_k\}, k \in K_2 \subseteq K_1$, где K_2 – индексное множество.

Также обосновано утверждение, согласно которому кратчайшие пути не содержат одновременно горизонтальных и вертикальных связей, а также диагональных связей двух типов, то есть s_1 и s_2 одновременно, или s_3 и s_4 одновременно. Таким образом, КП на множестве АЭ являются моделями принадлежащих GT-объекту некоторого изображения исходного знака образов кривых без самопересечений, характеризуемых сохранением локально-глобального направления движения [4], либо их фрагментов [2].

Заметим также, что, согласно определениям пути и КП [3], для любых АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ произвольный путь $L_k \in \mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K_0\}$, может быть представлен в виде объединения конечного числа кратчайших путей.

Приведенный в [3] критерий принадлежности произвольного пути множеству кратчайших в совокупности с доказанными утверждениями позволяют осуществлять автоматическую декомпозицию произвольного D-знака, предполагающую выявление фрагментов образов GT-объектов, которые соответствуют кривым модели исходного изображения знака [2], и характеризуются сохранением ЛГН.

Конструктивизм определения указанных фрагментов образов GT-объектов на множестве АЭ позволяет осуществлять их автоматическое выявление без априорного задания элементов открытого алфавита и множеств производных элементов.

Таким образом, КП является искомой элементарной составляющей моделей образов GT-объектов на множестве АЭ, не предполагающей априорного задания множеств производных элементов, эталонов, примитивов, последовательностей морфологических операций, которая позволяет в силу конструктивизма своего определения и имеющихся теоретических предпосылок [1–4] автоматически формировать модели анализируемых образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов и их GT-объектов в терминах свойств дискретного множества АЭ.

Выбор КП в качестве элементарной составляющей модели D-знака предполагает возможность автоматического формирования математической модели образа GT-объекта произвольного бинарного РЦИ аналогично структурным методам [6]. Разница с указанными методами заключается в том, что, в отличие от производных элементов, КП задается конструктивно безотносительно к объектам обучающей выборки и их эвристически-субъективному анализу на этапе проектирования системы распознавания, и его автоматическое выявление не предполагает необходимости применения мер близости, пороговых констант [6] и прочих способов [5], снижающих, как показано в [1], качество распознавания.

На рис. 3. приведены примеры результатов автоматизированного выявления на образах GT-объектов множеств КП, каждый из которых характеризуется на множестве АЭ сохранением ЛГН [2].

Заметим, что наличие в КП между парой фиксированных АЭ связей установленных типов в общем случае предполагает наличие различий между КП в рамках одного множества $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, обусловленных различными порядками следования связей, формирующих различные кратчайшие пути. Данный факт подтверждается, в частности, примерами, приведенными на рис. 4.

Указанные различия между КП, принадлежащими одному множеству $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, в общем случае определяют проблематичность именования образов GT-объектов как совокупностей кратчайших путей, сформированных одинаковыми типами связей.

На рис. 5 приведены примеры множеств КП, выявленных на образах GT-объектов, неразличимых по типам составляющих связей с аналогичными путями, выявленными на образах GT-объектов.

Таким образом, КП, являясь конструктивно определенным на множестве АЭ универсальным аналогом непроизводного элемента, при его использовании в качестве элементарной составляющей автоматически формируемой ММ образа GT-объекта бинарного РЦИ знака произвольного алфавита, предполагает необходимость учитывать его свойства, отражающие в частности, последовательности типов составляющих его связок. То есть кратчайшие пути, изображенные на рис. 4, целесообразно различать между собой.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАТЧАЙШИХ ПУТЕЙ

В соответствии с проведенными рассуждениями, для того, чтобы различать принадлежащие одному множеству $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ пути, порядки следования связок в кото-

рых различны, определим понятия выпуклых вверх, вниз, влево и вправо КП. Указанные характеристики в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости, определенных для кривых в терминах свойств всюду плотных множеств и позволяющих, в частности, учитывать локальные свойства соответствующих объектов, моделирующих изображения знаков, например, в признаковых [5] и структурных [6] подходах к распознаванию.

Определение 2. Путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *верхней границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_l}$, $m_r^l \in \hat{M}$, $r = \overline{1, n_l}$, $l \in K_2$, и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k)$, $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l)$,

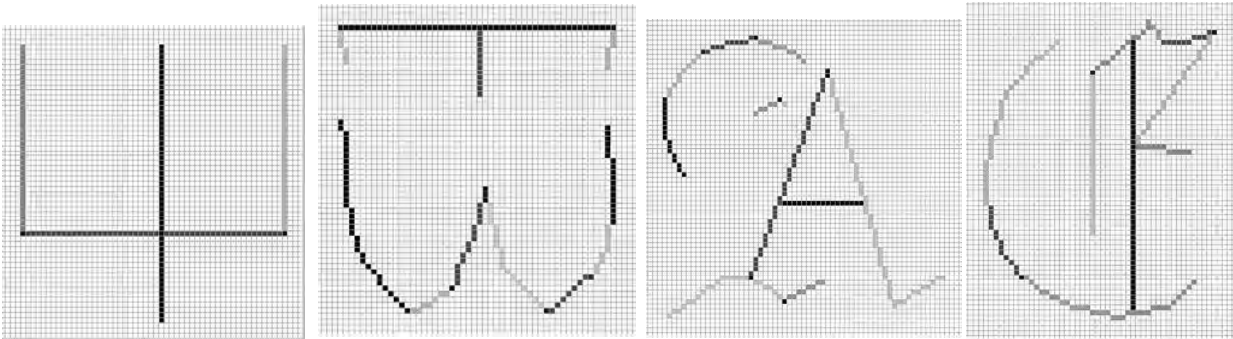


Рис. 3. Множества КП, выявленных на образах GT-объектов в автоматизированном режиме

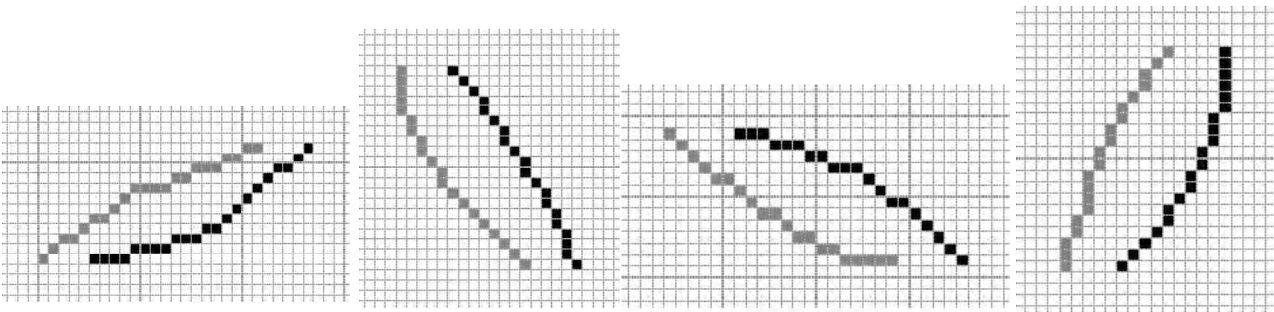


Рис. 4. Примеры КП между парами фиксированных АЭ, моделирующих локальные изменения направлений движений РЧ УФС

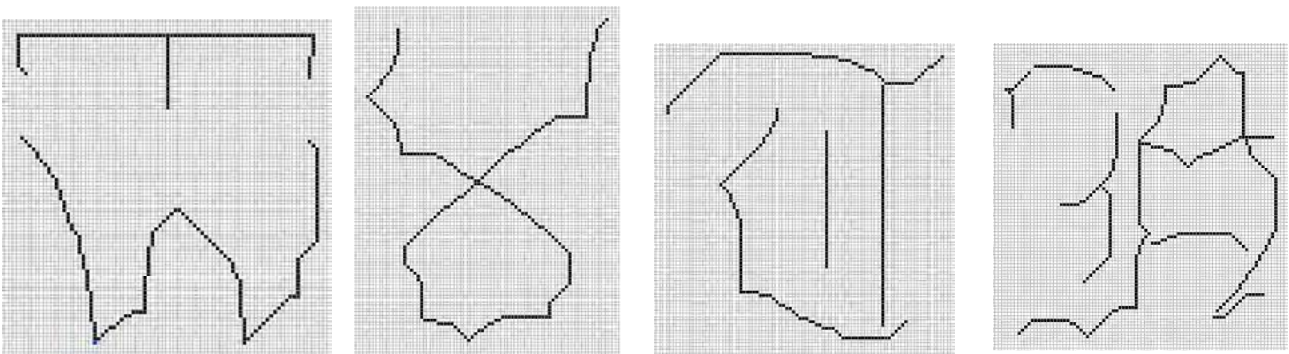


Рис. 5. Образы GT-объектов, именование которых проблематично

$h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$i_h \leq i_r, j_h \leq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{1, 4\}, h, r = \overline{1, n_k}$
или
 $i_h \leq i_r, j_h \geq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{1, 3\},$
 $h, r = \overline{1, n_k}.$ (3)

Определение 3. Путь $L_k \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}, m_h^k \in \hat{M}, h = \overline{1, n_k},$
 $k \in K_2$, называется *левой границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}, m_r^l \in \hat{M}, r = \overline{1, n_k},$
 $l \in K_2,$ и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k),$
 $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l), h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$i_h \leq i_r, j_h \leq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{2, 4\},$
 $h, r = \overline{1, n_k}$, или

$i_h \geq i_r, j_h \leq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{2, 3\},$
 $h, r = \overline{1, n_k}.$ (4)

Примеры верхних и левых границ различных множеств кратчайших путей приведены на рис. 6.

Аналогично определим нижнюю и правую границы множества КП.

Определение 4. Путь $L_k \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}, m_h^k \in \hat{M}, h = \overline{1, n_k},$
 $k \in K_2$, называется *нижней границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}, m_r^l \in \hat{M}, r = \overline{1, n_k},$
 $l \in K_2,$ и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k), \forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l),$
 $h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

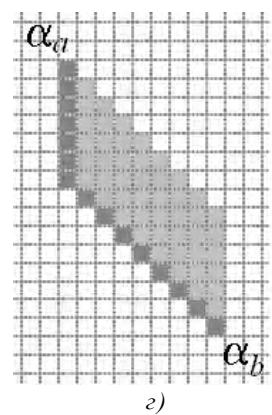
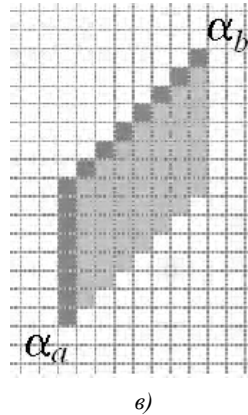
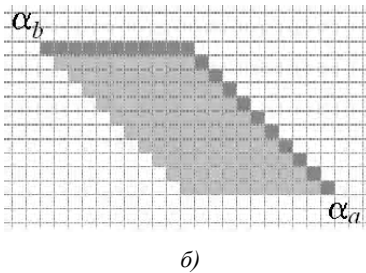
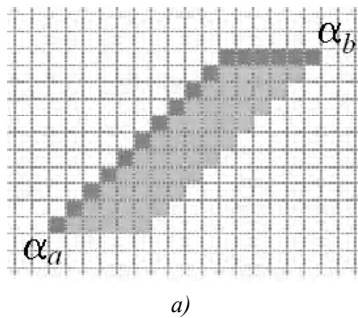


Рис. 6. Верхние (а, б) и левые (в, г) границы множеств КП

$i_h \geq i_r, j_h \geq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{1, 4\},$
 $h, r = \overline{1, n_k}$, или

$i_h \geq i_r, j_h \leq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{1, 3\}, h, r = \overline{1, n_k}.$ (5)

Определение 5. Путь $L_k \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}, m_h^k \in \hat{M}, h = \overline{1, n_k},$
 $k \in K_2$, называется *правой границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}, m_r^l \in \hat{M}, r = \overline{1, n_k},$
 $l \in K_2,$ и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k),$
 $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l), h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$i_h \geq i_r, j_h \geq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{2, 4\},$
 $h, r = \overline{1, n_k}$, или

$i_h \leq i_r, j_h \geq j_r$, в случае, когда $m_h^k, m_r^l \in \{2, 3\},$
 $h, r = \overline{1, n_k}.$ (6)

На рис. 7 приведены примеры нижних и правых границ множеств КП.

На основании предложенных определений выделим в различных множествах КП $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ подмножества путей, характеризующихся, согласно проведенным рассуждениям, верхней, нижней, левой либо правой ориентацией, что позволит при автоматическом моделировании и именовании на множестве АЭ образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов более точно учитывать особенности сохраняющих ЛГН фрагментов образов ГТ-объектов [2].

Определение 6. Путь $L_k \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b),$
 $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}, m_h^k \in \hat{M}, h = \overline{1, n_k},$
 $k \in K_2$, называется *ориентированным вверх*, если $\forall \alpha_h = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k), h = \overline{2, n_k}$, выполнено следую-

щее условие:

$$j_h^k = j_h^t = j_h^l, i_h^k \leq i_h^t \leq i_h^l + \left\lfloor \frac{i_h^l - i_h^t - 1}{2} \right\rfloor,$$

при $m_h^k \in \{1, 3\}$ либо $m_h^k \in \{1, 4\}$,

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$, $L_t, L_l \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, – соответственно верхняя и нижняя границы множества $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

На рис. 8, а), б) приведены примеры множеств АЭ, формирующих связки ориентированных вверх КП различных множеств $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ в соответствии с определением 6.

Определение 7. Путь $L_k \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным влево*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено следующее условие:

$$i_h^k = i_h^t = i_h^l, j_h^k \leq j_h^t \leq j_h^l + \left\lfloor \frac{j_h^l - j_h^t - 1}{2} \right\rfloor, \text{ при } m_h^k \in \{2, 4\},$$

либо $m_h^k \in \{2, 3\}$,

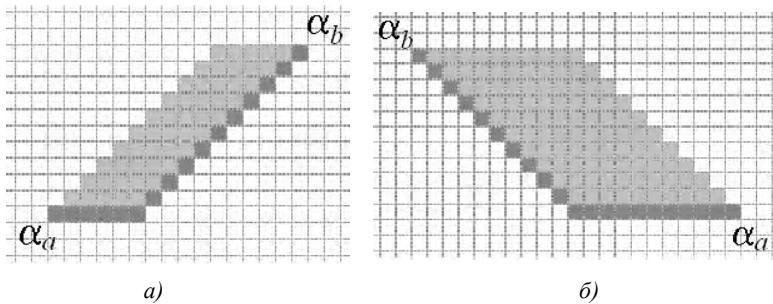


Рис. 7. Нижние (а, б) и правые (в, з) границы множеств КП

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$, $L_t, L_l \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, – соответственно левая и правая границы множества $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Рис. 8, в), г) содержат примеры множеств АЭ, формирующих связки КП, ориентированных влево согласно определению 7, для различных множеств $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Аналогично ориентированным вверх и влево, для различных множеств $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ определим ориентированные вниз и вправо КП.

Определение 8. Путь $L_k \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным вниз*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено следующее условие:

$$j_h^k = j_h^t = j_h^l, i_h^k - \left\lfloor \frac{i_h^l - i_h^t - 1}{2} \right\rfloor \leq i_h^k \leq i_h^l, \text{ при } m_h^k \in \{1, 3\}$$

либо $m_h^k \in \{1, 4\}$,

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$, $L_t, L_l \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, –

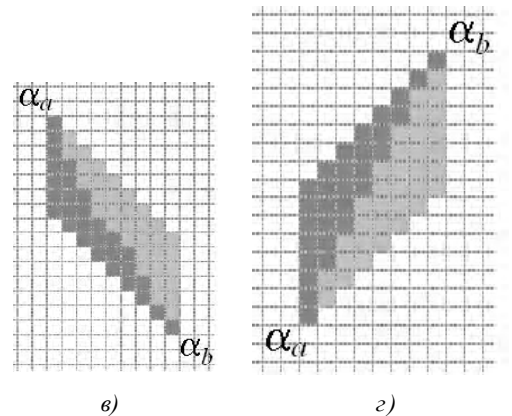
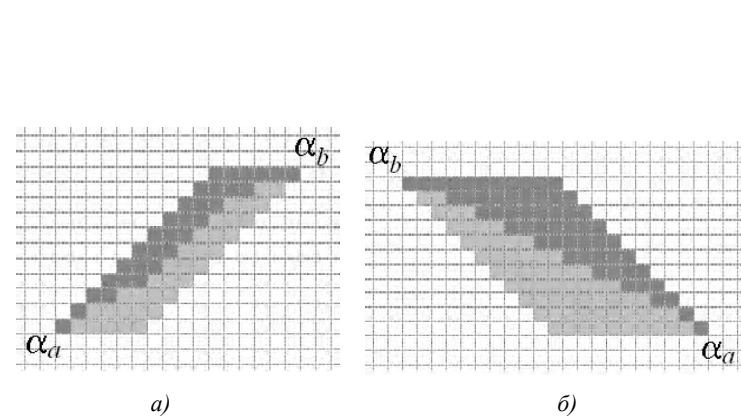
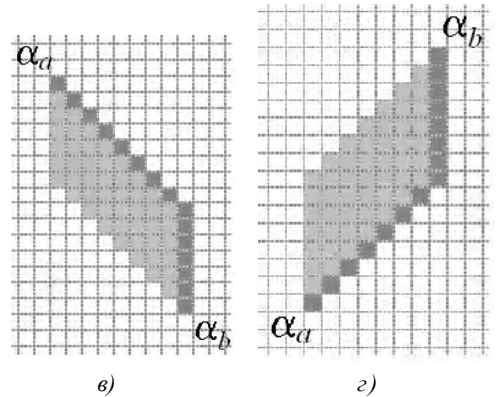


Рис. 8. Множества АЭ, формирующие связки ориентированных вверх (а, б) и влево (в, з) КП множеств $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ (выделены темным)

соответственно верхняя и нижняя границы множества $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Определение 9. Путь $L_k \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}^{n_k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным вниз*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено следующее условие:

$$j_h^k = j_h^t = j_h^l, i_h^k - \left\lfloor \frac{i_h^l - i_h^t - 1}{2} \right\rfloor \leq i_h^k \leq i_h^l,$$

при $m_h^k \in \{1, 3\}$ либо $m_h^k \in \{1, 4\}$,

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$, $L_t, L_l \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$ – соответственно верхняя и нижняя границы множества $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Примеры множеств АЭ, формирующих, в соответствии с определениями 8, 9, связки ориентированных вниз и вправо КП из различных множеств $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, приведены на рис. 9, а), б) и 9, в), з) соответственно.

В случае, если произвольный путь $L_k \in \mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in K_2$, не является ориентированным вверх, вниз, влево либо вправо согласно определениям 6–9, он может быть представлен в виде объединения конечного числа ориентированных КП.

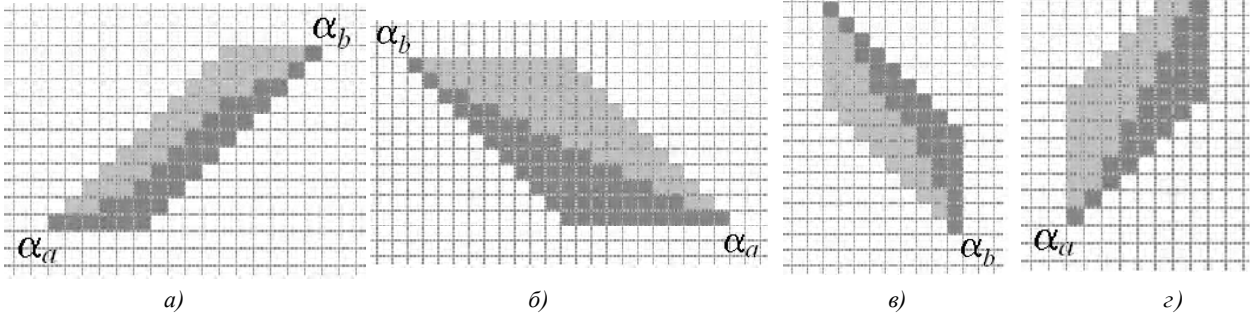


Рис. 9. Множества АЭ, формирующие связки ориентированных вниз (а, б) и вправо (в, з) КП множеств $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ (выделены темным)

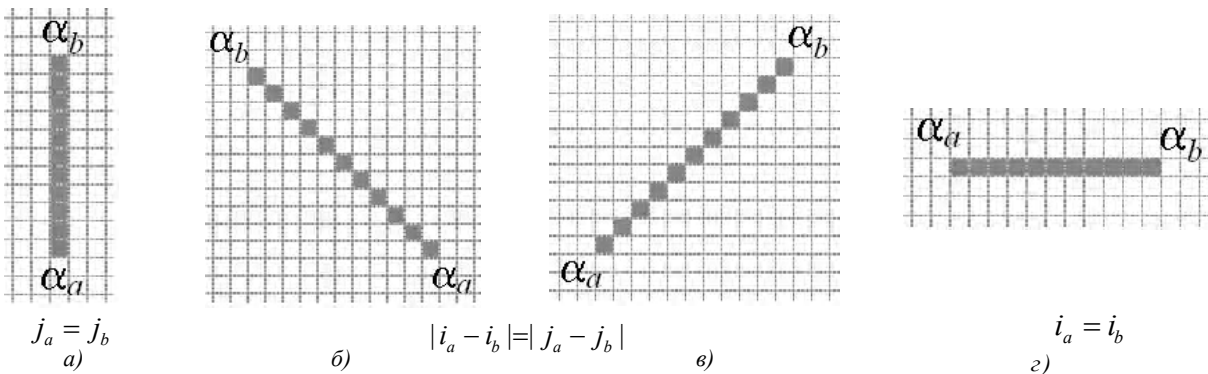


Рис. 10. Множества КП, состоящие из единственного элемента, являющегося одновременно левой и правой (а–в) либо верхней и нижней (б–з) границами множеств $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$

Если начальные и конечные АЭ КП некоторого множества $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ таковы, что $i_a = i_b$ или $j_a = j_b$, но при этом $i_a \neq i_b$ и $j_a \neq j_b$ одновременно, или $|i_a - i_b| = |j_a - j_b|$, то для фиксированных значений индексов АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$, удовлетворяющих указанным условиям, существует единственный КП между ними, который состоит из связок только одного типа, при этом верхняя и нижняя либо левая и правая границы множеств КП совпадают (рис. 10).

В данном случае соответствующие образы кривых как элементы GT-объекта, или их фрагменты, характеризуются сохранением ЛГН, на множестве АЭ моделируются D-отрезками [3], являющимися частными случаями КП. При этом, согласно [1], вариативность в выборе элементарной составляющей модели образа GT-объекта минимальна, следовательно, определение ориентированности кратчайшего пути не является целесообразным, и автоматическое моделирование осуществляется непосредственно к выявленным D-отрезкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор кратчайшего пути в качестве элементарной составляющей модели образа GT-объекта изображения произвольного знака открытого алфавита позволяет, в частности, эффективно осуществлять автоматическую

декомпозицію D-знаків [3]. Определения ориентированных вверх, вниз влево и вправо КП позволяют при формировании моделей анализируемых D-знаков учитывать такую характеристику кривых, как выпуклость, традиционно используемую, согласно [5, 6], при моделировании исходных изображений знаков.

Проведенные в настоящей работе рассуждения и введенные определения позволяют перейти к рассмотрению проблемы взаимного расположения КП в моделируемых D-знаках, что позволит учитывать относительные характеристики автоматически выявляемых в процессе декомпозиции элементарных составляющих образов GT-объектов, представимых в виде множества путей [4], соответствующих порождающим траекториям исходных изображений знаков, сгенерированных в соответствии с изложенной в [2] гипотезой.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевцов, Д. В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеoinформации [Текст] / Д. В. Шевцов // Вісник ХНТУ. – 2009. – № 1 (34). – С. 231–240.

Шевцов Д. В.

Канд. техн. наук, доцент, Донецький національний університет, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІ ЕЛЕМЕНТАРНИХ СКЛАДОВИХ МОДЕЛЕЙ ЗНАКІВ, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ АВТОМАТИЧНОМУ ІМЕНУВАННЮ НА МНОЖИНІ АТОМАРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Автоматичне моделювання, іменування та опізнання знаків цифрових бінарних зображень довільної природи є актуальною науково-практичною задачею, яка знаходить своє використання в багатьох галузях впровадження інформаційних технологій, зокрема, при обробці й аналізі електронних документів. Стаття присвячена конструктивному визначенню структурних складових зображень, які модулюються після скелетизації при попередній обробці, та їх властивостей, які нададуть можливості здійснювати автоматичне виявлення вказаних об'єктів з метою наступного формування описів знаків, що іменуються та розпізнаються на дискретній множині атомарних елементів.

Ключові слова: автоматичне моделювання, цифрові бінарні зображення, іменування, розпізнавання, декомпозиція, найкоротший шлях.

Shevtsov D. V.

Ph.D., associate Professor, Donetsk National University, Ukraine

DETERMINING THE ORIENTATION OF THE ELEMENTARY COMPONENTS OF CHARACTERS MODELS, SUBJECT TO AUTOMATIC NAMING ON THE SET OF ATOMIC ELEMENTS

Arbitrary nature digital binary images signs automatic modeling, naming and recognition are actual scientific and practical problems, which are existing in many areas of information technologies application scopes, particularly in electronic documents processing and analyzing. This article is devoted to a constructive definition of images structure components, that are modeled after skeletonization during preprocessing, and their properties, which will give an opportunity to perform automatic detection of described objects in order to form description of future signs, which will be named and recognized on atomic elements discrete set

Keywords: automatic modeling, digital binary images, naming, recognition, decomposition of the shortest path.

REFERENCES

1. Shevczov D. V. Obosnovanie perspektivny'h napravlenij pri proektirovanii sistem avtomatizirovannoj obrabotki videoinformacii, *Visnyk HNTU*, 2009, No.1 (34), pp. 231–240.
2. Mel'nik A.-V. V., My'shko S. V., Shevczov D. V. Modeliruemoct' GT-ob''ekta na diskretnom mnozhestve atomarny'h e'lementov, *Visnik HNTU*, 2008, No. 33, pp. 112–118.
3. My'shko S. V., Shevczov D. V. Avtomaticheskaya dekompoziciya izobrazhenij pri ih opoznavanii v sistemah tehniceskogo zreniya robotov, *Naukovi pratsi Donets'kogo*

2. Мельник, А.-В. В. Моделируемость GT-объекта на дискретном множестве атомарных элементов [Текст] / А.-В. В. Мельник, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Вісник ХНТУ. –2008. – № 33. – С. 112–118.
3. Мышко, С. В. Автоматическая декомпозиция изображений при их опознании в системах технического зрения роботов [Текст] / С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія : Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 38. – Донецьк : РВА ДонДТУ, 2002. – С. 216–222.
4. Вайсруб, Н. В. Применение способа формирования GT-объектов и способа автоматического моделирования изображений при проектировании систем технического зрения [Текст] / Н. В. Вайсруб, А.-В. В. Мельник, Д. В. Шевцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 2. – С. 55–59.
5. Гонсалес, Р. Принципы распознавания образов [Текст] / Р. Гонсалес, Дж. Ту ; пер. с англ. – М. : Мир, 1978. – 416 с.
6. Фу, К. Структурные методы в распознавании образов [Текст] / К. Фу ; пер. с англ. – М. : Мир, 1977. – 319 с.

Стаття надійшла до редакції 28.08.2013.

Після доробки 24.10.2013.