

УДК 681.5.015

С. А. Сопин,  
Д. В. Шевцов, канд. техн. наук

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ GT-ОБЪЕКТОВ ЗНАКОВ НА МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Определен предмет исследования в задаче автоматической сегментации GT-объектов на множестве атомарных элементов, позволивший разработать новый подход к моделированию и сегментации цифровых бинарных изображений произвольной природы. Подход основан на выявлении при помощи элементов покрытия фрагментов изображения, характеризующихся сохранением локально-глобального направления движения устройства фиксации следа.*

**Ключевые слова:** сегментация бинарных изображений, моделирование изображений, элемент покрытия, фрагмент изображения, обработка изображений, покрытие, направление движения, множество атомарных элементов, цифровые бинарные изображения, проблемы при сегментации изображений, GT-объект, анализ и распознавание образов

S. A. Sopin,  
D. V. Shevtsov, PhD.

### RESEARCH SUBJECT DEFINITION IN THE PROBLEM OF GT-OBJECTS AUTOMATIC SEGMENTATION ON ATOMIC ELEMENTS SET

*Research subject in the problem of GT-objects automatic segmentation on atomic elements set has been defined, it lets develop new approach to free structure digital binary images modeling and segmentation. Approach is based on image fragments detection, characterized by local-global direction persistence of the track fixation device, using cover elements.*

**Keywords:** binary images segmentation, image modeling, cover element, image fragment, image processing, cover, movement direction, atomic elements set, digital binary images, images segmentation problems, GT-object, pattern recognizing, pattern inspection and recognition

С. О. Сопін,  
Д. В. Шевцов, канд. техн. наук

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРЕДМЕТА ДОСЛІЖЕННЯ В ЗАДАЧІ АВТОМАТИЧНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ GT- ОБ'ЄКТІВ ЗНАКІВ НА МНОЖИНІ АТОМАРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Визначено предмет дослідження в задачі автоматичної сегментації GT-об'єктів на множині атомарних елементів, що дало змогу розробити новий підхід до моделювання та сегментації цифрових бінарних зображень довільної природи. Підхід засновано на виявленні за допомогою елементів покриття фрагментів зображення, що характеризуються зберіганням локально-глобального напрямку руху пристрою фіксації сліду.*

**Ключові слова:** сегментація бінарних зображень, моделювання зображень, елемент покриття, фрагмент зображення, обробка зображень, покриття, напрямок руху, множина атомарних елементів, цифрові бінарні зображення, проблеми при сегментації зображень, GT-об'єкт, аналіз та розпізнавання зображень

#### Введение

На сегодняшний день актуальна проблема распознавания знаков изображений произвольной природы, например, рукописных символов, топологических карт, чертежей, схем и т.д. [11].

Традиционно большинство методов распознавания изображений базируются на предварительном формировании классов образов, характеризующихся некоторыми векторами признаков. Как следствие, процесс распознавания сводится к отнесению объекта, поданного на вход системы, к одному из таких классов [2, 3, 12].

Однако при распознавании изображений произвольной природы имеет место ряд проблем, связанных, в частности, с трудностями при формировании конечного множества признаков объектов [2, 3, 12] в связи с бесконечным многообразием способов начертания любого символа.

В [9, 15, 16] предложен альтернативный способ автоматического формирования совокупности моделей образов траекторий, сохраняющих локально-глобальные направления (ЛГН) движения при начертании исходного изображения. Данный подход позволил избежать необходимости задания статистических и априорно заданных признаков

© Сопин С. А., Шевцов Д. В., 2013

[1, 8], введения мер близости [7], пороговых величин [1, 8], а также формировать качественные модели изображений в автоматическом режиме [6], что определило целесообразность его использования при распознавании изображений.

Данная статья посвящена рассмотрению нового подхода к автоматическому моделированию изображений, основанному на использовании элементов покрытия как предмета исследования при автоматической сегментации GT-объектов знаков на множестве атомарных элементов для выявления фрагментов изображений, характеризующихся сохранением локально-глобального направления движения устройства фиксации следа [11].

### 1. Проблемы сегментации и моделирования изображений

Как указано в [11], работа системы обработки и распознавания изображений предполагает реализацию нескольких этапов:

- формирования изображения;
- стадии предварительной обработки;
- сегментации изображения;
- классификации и распознавания.

Изображение формируется при помощи аппаратно-технических средств, таких, как сканеры, камеры и т.д. [1, 13], рассмотрение этого процесса выходит за рамки данной статьи, вследствие чего оно будет опущено.

Стадия предварительной обработки включает в себя фильтрацию, позволяющую ослабить действие помех по средствам изменения яркости отдельных пикселей изображения, восстановление, улучшение и скелетизацию изображения, которую также называют утоньшением [5, 10] или генерацией остова [4].

Сегментация – процесс представления исходного изображения в виде совокупности фрагментов, однозначно сопоставимых с элементами некоторого априорно заданного словаря [2, 3, 11, 12]. Анализ совокупности предопределенных признаков позволяет классифицировать объекты, поданные на вход системы [3, 11, 12].

Классификация и опознавание – отнесение объектов к одному из заранее заданных классов [1, 2, 13]. Рассмотрение этого вопро-

са выходит за рамки данной статьи и будет опущено.

В соответствии с [3, 11], традиционно изображение определяют как двумерную функцию  $f(x, y)$ , где  $x, y$  – координаты на плоскости. Значение данной функции в точке  $(x, y)$  называется интенсивностью или уровнем серого (яркостью) изображения в этой точке. Если  $x, y$  и  $f$  принимают конечное множество дискретных значений, то речь идет о цифровом изображении [12]. Как следствие, большинство современных методов обработки, сегментации и распознавания цифровых изображений базируются на указанном понятии.

Поскольку, как указано в [7], видеопамять компьютера имеет дискретную структуру и применение математических категорий всюду плотных множеств при моделировании цифровых изображений может приводить к возникновению трудностей при дальнейшем распознавании, в [1, 2, 14] обосновано, что моделирование образов цифровых изображений целесообразно проводить на дискретном множестве атомарных элементов.

В связи с тем, что, согласно [4–6, 10, 11], скелетизация как один из этапов обработки цифровых изображений не учитывает их дискретного представления, было предложено полагать, что «автоматическому или автоматизированному анализу, с целью распознавания в СТЗ, подлежит образ GT-объекта на множестве атомарных элементов (АЭ) как связное множество путей» [4, 6].

Так как формирование изображения играет ключевую роль в процессе распознавания, рассмотрим элементы гипотезы о способе формировании изображений [5].

В соответствии с [5], «каждому поступающему концепту  $K_i (i=1, 2, \dots)$ , именуемому как  $O_i$ , подлежащему генерации и регистрации, взаимно однозначно сопоставимо множество моделей  $M_i = \{M_1^i, M_2^i, \dots\}$ ». При этом полагается, что процессу регистрации изображений предшествует процесс его генерации, реализуемый устройством управления (УУ) регистрирующего устройства. В соответствии с моделью, упомянутое уст-

ройство управления генерирует упорядоченное множество траекторий движения устройства фиксации следа (УФС). Каждая из генерируемых траекторий представляет собой непрерывную кривую, взаимно однозначно соответствующую некоторой кривой исходной модели [5].

Однако на практике наблюдаются случаи, когда УУ или УФС функционирует так, что зафиксированное множество следов траекторий движений не вполне соответствует исходной модели [9, 11, 14, 15]. Например, объект был сгенерирован вследствие начертания дрожащей рукой (рис. 1).



Рис. 1. Пример объекта, сгенерированного вследствие начертания дрожащей рукой

В результате этого фрагменты, выявленные в процессе сегментации, могут существенно отличаться от фрагментов словаря [11], пример проиллюстрирован на рис. 2.

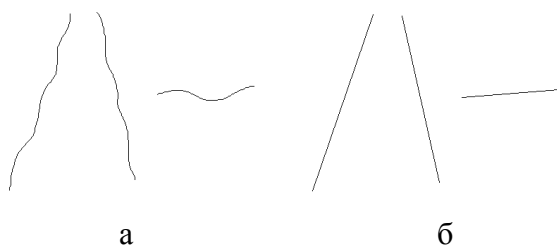


Рис. 2. Выявленные фрагменты исходного изображения (а) и фрагменты словаря (б)

В рассматриваемом случае решение задачи распознавания значительно усложняется, а иногда и вовсе не представляется возможным [3, 12]. С целью решения данной проблемы в [9, 14, 15] был предложен способ выявления фрагментов изображений, лишенный описанных недостатков.

В соответствии с гипотезой о формировании изображений [5], в указанных работах дано конструктивное определение элемента представления, позволяющего выявлять фрагменты изображений, характеризуемые сохранением локально-глобального направ-

ления движения, при этом абстрагируясь от локальных изменений движения на знаке. Применение такого подхода позволило учитывать погрешности, возникающие при генерации знака изображения, а также увеличить учет инвариантности в начертании знаков произвольной природы, относящихся к одному классу [9, 11, 14, 15].

Однако, как отмечено в [11], данный подход характеризуется, в частности, фиксированным положением сектора элемента представления, что затрудняет его использование. С целью решения указанной проблемы и выявления фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН, определим понятие элемента покрытия (ЭП) как аналога элемента представления.

## 2. Элемент покрытия и его свойства.

Как указано в [14], построение покрытия заключается в формировании множества АЭ элементов представления, включающего множество АЭ моделируемого пути.

Учитывая, что, как говорилось ранее, автоматическому или автоматизированному анализу подлежит образ ГТ-объекта как связного множества путей, не ограничивая общности проводимых рассуждений, для упрощения записи в качестве моделируемого объекта будем рассматривать один из путей, составляющих моделируемый ГТ-объект:  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ ,  $j \in N$ .

Для проведения дальнейших рассуждений определим элемент, который будет использоваться для выявления фрагментов изображений, характеризуемых сохранением локально-глобального направления движения, как предмет исследования в задаче автоматической сегментации ГТ-объектов знаков на множестве АЭ. С этой целью введем понятия П-границы, П-центра и П-тела.

*Определение 1.* П-границей  $\lambda_p^j$ ,  $p \in N$  называется замкнутый путь, полученный объединением четырех D-отрезков  $\overline{L}_k$ ,  $k \in \{1, 2, 3, 4\}$  [7] такой, что  $\lambda_p^j = \bigcup_{k=1}^4 \overline{L}_k^p(\alpha_a^k, \alpha_b^k)$ , при этом вторая мера каждого из D-отрезков – нечетное число, т.е.

$$\left\{ \frac{\mu_2(\overline{L_k^p})}{2} \right\} = 0, \quad \text{и} \quad \alpha_a^{k+1} \equiv \alpha_b^k,$$

$$\sigma(\overline{L_k}) = (\Delta_1, \Delta_2, 0, 0), \quad \Delta_1 = \begin{cases} 1, k = \{1, 3\} \\ 0, k = \{2, 4\} \end{cases},$$

$$\Delta_2 = \begin{cases} 0, k = \{1, 3\} \\ 1, k = \{2, 4\} \end{cases}.$$

Пример П-границы проиллюстрирован на рис. 3.

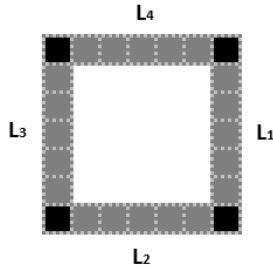


Рис. 3. Пример П-границы

Пронумеруем АЭ, составляющие П-границу, как показано на рис. 4.

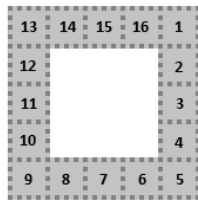


Рис. 4. Нумерация АЭ элемента покрытия

Введем понятие П-центра как центра множества АЭ, ограниченного П-границей.

*Определение 2.* П-центром называется АЭ  $\alpha_p^*$ ,  $p \in N$  такой, что

$$\mu_2(\overline{L}(\alpha_p^*, \alpha_a^k)) = \frac{\mu_2(\overline{L_k}(\alpha_a^k, \alpha_b^k))}{2}, \quad \text{где}$$

$$\overline{L_k}(\alpha_a^k, \alpha_b^k) \in \hat{\lambda}_p^j, \quad k \in \{1, 2, 3, 4\}.$$

Как следствие сказанного, определим понятие П-тела.

*Определение 3.* П-телом  $\beta_p^j$ ,  $p \in N$  называется множество атомарных элементов  $\{\alpha_f^p\}_{f=0}^{f'}$ ,  $f' = (\mu_2(\overline{L_k^p}) - 1)^2 - 1$  таких, что для  $\forall \alpha_f^p$ ,  $\exists \Pi_p^j, \alpha_r^k, \alpha_r^{k+2}$ :  $\mu_2(L(\alpha_f^p, \alpha_r^k)) + \mu_2(L(\alpha_f^p, \alpha_r^{k+2})) = \mu_2(\overline{L_k^p})$ ,  $\alpha_r^k \in \overline{L_k^p}$ ,  $\alpha_r^{k+2} \in \overline{L_{k+2}^p}$ ,  $\overline{L_k^p}, \overline{L_{k+2}^p} \subset \Pi_p^j$ ,

$$n = \mu_2(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)) + 1, \quad k \in \{1, 2, 3, 4\}, \quad r \in N, \quad p \in N.$$

На основании введенных определений введем понятие ЭП как предмета исследования в задаче автоматического моделирования GT-объекта знака на множестве атомарных элементов.

*Определение 4.* Элементом покрытия  $\Pi_p^j, p \in N$  называется множество АЭ принадлежащих объединению границы ЭП, его центра и тела, т.е.  $\Pi_p^j = \Lambda(\hat{\lambda}_p^j) \cup \beta_p^j \cup \alpha_p^*$  (рис. 5).

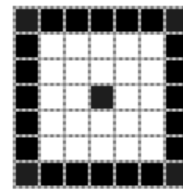


Рис. 5. Элемент покрытия

Поскольку определение ЭП предполагает, что метрические характеристики всех D-отрезков, составляющих границу данного ЭП, равны, т.е.  $\mu_2(\overline{L_k^p}) = \mu_2(\overline{L_{k+1}^p})$ ,  $\overline{L_k^p} \in \hat{\lambda}_p^j$ ,  $\Lambda(\hat{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$ ,  $k = \{1, 2, 3, 4\}$ , то каждый ЭП целесообразно характеризовать в соответствии с мощностью множества АЭ D-отрезков, составляющих его границу, для чего введем понятие размера элемента покрытия.

*Определение 5.* Размером ЭП  $\Pi_p^j$  будем называть величину  $\rho(\Pi_p^j)$  такую, что  $\rho(\Pi_p^j) = \text{mes}(\Lambda(\overline{L_k^p}))$ ,  $\overline{L_k^p} \subset \hat{\lambda}_p^j$ ,  $\Lambda(\hat{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$ ,  $k \in \{1, 2, 3, 4\}$ .

В связи с тем, что при решении задач сегментации, моделирования и распознавания изображений образ GT-объекта рассматривается как связное множество путей  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ ,  $\hat{j} = \overline{1, n'}$ ,  $n' \in N$ , то модель всего знака целесообразно формировать, основываясь на моделях путей, составляющих данный знак. Для решения этой задачи в следующем параграфе настоящей статьи определим правила размещения ЭП на пути  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ .

### 3. Размещение элемента покрытия на пути. Сегмент элемента покрытия

Для формирования модели пути  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$  необходимо выявить все фрагменты данного пути, характеризующиеся сохранением ЛГН, следовательно, необходимо сформировать покрытие данного пути, т.е. разместить на нем множество ЭП. С целью конструктивной трактовки понятия «размещение ЭП» введем следующее определение.

**Определение 6.** Элемент покрытия  $\Pi_p^j$  называется размещенным на пути  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ , если  $\alpha_p^* \cap \Lambda(L_j) \neq \emptyset$ ,  $mes(\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j \cap L_j)) \geq 2$ ,  $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$ ,  $j, p \in N$ . Элемент покрытия  $\Pi_p^j$  размещенный на пути, будем обозначать, как  $\Pi_p^j \Rightarrow L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ .

Пример размещения ЭП на пути проиллюстрирован на рис. 6.

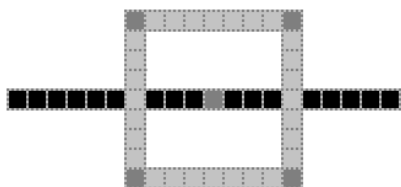


Рис. 6. Размещение ЭП на пути

**Определение 7.** Покрытием пути  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$  называется множество ЭП, размещенных на данном пути.

Во избежание возникновения неопределенностей при моделировании пути  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$  следует учесть, что все ЭП, расположенные на нем, должны быть одинаковы по размеру, т.е.  $\rho(\Pi_p^j) = \rho(\Pi_v^j)$ ,  $\Pi_p^j \Rightarrow L_j$ ,  $\Pi_v^j \Rightarrow L_j$ ,  $p \in N$ ,  $v \in N$ .

В связи с тем, что основной задачей при построении модели пути является выявление его фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, а, следовательно, и изменений направления ЛГН на данном пути, а также учитывая, что для определения изменения направления движения необходимо разместить минимум два ЭП, определим максимально допустимый размер ЭП на пути.

**Определение 8.** Максимальным размером ЭП на пути называется величина  $\delta_{\max}$  равная

$$\max \left\{ \left[ \frac{\mu_z(L(\alpha_a^j, \alpha_{a+z}^j))}{2} \right] \right\},$$

$$L(\alpha_a^j, \alpha_{a+z}^j) \subseteq L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j), \quad z \in \{1, 2, \dots, b-a\}.$$

Для обеспечения формирования модели, соответствующей исходному изображению, необходимо гарантировать полное покрытие пути.

**Определение 9.** Полным покрытием пути называется такое покрытие, при котором  $\forall \alpha_q \in L_j(\alpha_a, \alpha_b)$ ,  $\exists \Pi_p^j : \alpha_q \in \Lambda(\Pi_p^j)$ ,  $\Pi_p^j \Rightarrow L_j$ ,  $q = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $j, p \in N$ .

Однако фрагменты, выявленные таким способом, могут содержать информацию, затрудняющую процесс их описания, к примеру, если на пути будет размещено избыточное количество ЭП, т.е.  $\forall \Pi_p^j, \Pi_{p+1}^j : \Pi_p^j \Rightarrow L_j$ ,  $\Pi_{p+1}^j \Rightarrow L_j$ ,  $mes(\Pi_p^j \cap \Pi_{p+1}^j) > mes(\overline{L_k^p})$ ,  $\overline{L_k^p} \subset \tilde{\lambda}_p^j$ ,  $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$ . Как следствие, такое размещение ЭП может приводить к возникновению «артефактов» (рис. 7).

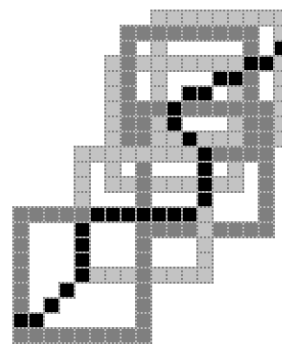


Рис. 7. Примеры избыточного покрытия пути

Следовательно, с целью решения указанной проблемы определим правила размещения ЭП на пути.

#### Правила размещения ЭП на пути

Элемент покрытия  $\Pi_1^j$  следует размещать таким способом, чтобы начальный атомарный элемент пути принадлежал пересечению границы данного ЭП и пути. Каждый следующий ЭП должен быть размещен так, чтобы множество АЭ, образующих пересечение данного ЭП с предыдущим, принад-

лежали множеству АЭ границ, указанных ЭП. Элемент покрытия  $\Pi_m^j$  следует размещать аналогично  $\Pi_1^j$ , за исключением того, что пересечению пути и границы ЭП должен принадлежать конечный АЭ данного пути, т.е.

$$\begin{aligned} \alpha_a &\in \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b) \cap \tilde{\lambda}_1^j), \\ \alpha_b &\in \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b) \cap \tilde{\lambda}_m^j), \quad \overline{L_k^{p'}} \cap \overline{L_k^{p'-1}}, \quad \overline{L_k^{p'}} \subset \tilde{\lambda}_{p'}^j, \\ \overline{L_k^{p'-1}} &\subset \tilde{\lambda}_{p'-1}^j, \quad \Lambda(\tilde{\lambda}_1^j) \subset \Pi_1^j, \quad \Lambda(\tilde{\lambda}_m^j) \subset \Pi_m^j, \\ \Lambda(\tilde{\lambda}_{p'}^j) &\subset \Pi_{p'}^j, \quad k' \in \{1, 2, 3, 4\}, \\ p' &\in \{2, 3, \dots, m'-1\}, \quad m' \in N \text{ (рис. 8)}. \end{aligned}$$

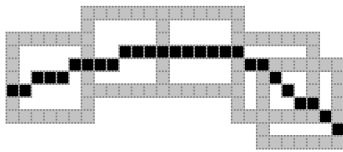


Рис. 8. Пример покрытия пути

В связи с тем, что понятие элемента покрытия не предполагает определения пересечений пути и ЭП, то полученное покрытие (рис. 6) не предоставляет какой-либо количественной либо качественной информации о ЛГН и его изменениях. Учитывая выбранный способ построения модели, в связи с необходимостью выявления фрагментов, характеризующих сохранением ЛГН, введем понятие сегмента элемента покрытия, что позволит выявить изменения ЛГН на пути и дополнить полученное покрытие информацией о знаке.

**Определение 10.** Сегментом ЭП  $\xi_p^j$  называется множество АЭ такое, что  $\xi_p^j = \{\alpha_q\}_{q=1}^{n'}$ ,  $n' \in N : \alpha_q \in \Lambda(\tilde{\lambda}_p^j)$ ,  $\left\{ \frac{n'}{2} \right\} \neq 0$ ,  $\alpha_{\lfloor \frac{n'}{2} \rfloor + 1} \in \Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \cap \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b))$ ,  $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$ .  
Размером сегмента ЭП называется мощность множества АЭ составляющих данный сегмент, т.е.  $mes(\xi_p^j)$ .

Таким образом, каждый элемент покрытия  $\Pi_p^j$  характеризуется его размером  $\rho(\Pi_p^j)$  и размером сегмента ЭП  $mes(\xi_p^j)$ .

В связи с тем, что граница ЭП  $\Pi_p^j$  и путь  $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$  могут иметь более двух пересечений, т.е.  $\aleph = \Lambda(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)) \cap \tilde{\lambda}_p^j$ ,  $mes(\aleph) \geq 2$ ,

и элементы множества  $\aleph$  не связаны между собой (рис. 9), следует, что ЭП может содержать более двух сегментов. В таком случае, учитывая, что путь – это упорядоченное множество связей, и при размещении ЭП на пути преследуется цель абстрагирования от локальных изменений движения, целесообразно рассмотреть лишь два пересечения, таких, что номера АЭ пути, принадлежащих данным пересечениям, наименьшие.

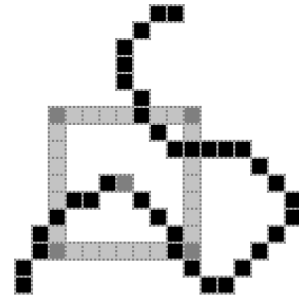


Рис. 9. Пример элемента покрытия, имеющего более двух пересечений

Следовательно, не ограничивая общности проводимых рассуждений, с целью формирования модели, пригодной для дальнейшего распознавания, будем считать, что каждый ЭП содержит два сегмента (рис. 10), т.е. для любого ЭП  $\Pi_p^j$ ,  $\exists \xi_{in}^p, \xi_{out}^p : \Lambda(\xi_{in}^p) \subset \Pi_p^j$ ,  $\Lambda(\xi_{out}^p) \subset \Pi_p^j$ ,  $\alpha_g \in \Pi_p^j \cap \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b))$ ,  $\alpha_g \in \xi_{in}^j$ ,  $\alpha_h \in \Pi_p^j \cap \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b))$ ,  $\alpha_h \in \xi_{out}^p$ , существуют АЭ  $\alpha_r^k, \alpha_r^{k+2}$  такие, что  $\alpha_r^k \in \overline{L_k^p}$ ,  $\alpha_r^{k+2} \in \overline{L_{k+2}^p}$ ,  $\mu_2(L(\alpha_z, \alpha_r^k)) + \mu_2(L(\alpha_z, \alpha_r^{k+2})) = \mu_2(\overline{L_k^p})$ ,  $\overline{L_k^p}, \overline{L_{k+2}^p} \subset \tilde{\lambda}_p^j$ ,  $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$ ,  $\Pi_p^j \Rightarrow L_j$ ,  $\alpha_z \in L_j(\alpha_a, \alpha_b)$ ,  $a < g < z < h < b$ ,  $k = \{1, 2, 3, 4\}$   $g, h, j \in N$ , а также, что  $mes(\xi_{in}^j) = mes(\xi_{out}^p)$ .

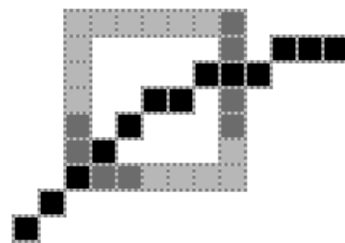


Рис. 10. Элемент покрытия. Размер ЭП – 7, размер сегмента – 5

Расположим первый ЭП  $\Pi_1^j$  на пути  $L_j(\alpha_a, \alpha_b)$  и зафиксируем множества номеров  $\eta_{in}^{fix}$ ,  $\eta_{out}^{fix}$  АЭ, составляющих  $\xi_{in}^1$  и  $\xi_{out}^1$  соответственно. Продолжая формирование покрытия пути, будем считать, что ЛГН сохраняется, если  $n_{in}^p \in \eta_{in}^{fix}$  и  $n_{out}^p \in \eta_{out}^{fix}$ , где  $n_{in}^p$ ,  $n_{out}^p$  – номера АЭ  $\alpha'_{in} \in \xi_{in}^p \cap L_j(\alpha_a, \alpha_b)$  и  $\alpha'_{out} \in \xi_{out}^p \cap L_j(\alpha_a, \alpha_b)$ ,  $\xi_{in}^p \in \Pi_p^j$ ,  $\xi_{out}^p \in \Pi_p^j$ . В случае, если  $n_{in}^p \notin \eta_{in}^{fix}$  и/или  $n_{out}^p \notin \eta_{out}^{fix}$  то направление изменилось, и повторно фиксируются множества номеров АЭ для  $\Pi_{p+1}$ , т.е.  $\eta_{in}^{fix} = \eta_{in}^{j+1}$ ,  $\eta_{out}^{fix} = \eta_{out}^{j+1}$ .

Покрытие пути с использованием ЭП и секторов позволяет зафиксировать изменения локально-глобального направления движения, однако на этапе формирования модели изменения ЛГН могут иметь место случаи, когда изменение ЛГН происходит в П-теле одного из ЭП  $\Pi_p^j$ , т.е.  $\exists \alpha_{b'}^j : L(\alpha_a^j, \alpha_{b'}^j) \subset L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ , где  $\alpha_{b'}^j \in \beta_p^j \cup \alpha_p^*$ ,  $b' \in \{a+1, \dots, b-1\}$ , и путь  $L(\alpha_a^j, \alpha_{b'}^j)$  характеризуется сохранением ЛГН, и будет **определено** лишь на секторе «выхода»  $\xi_{out}^p$  данного ЭП, как показано на рис. 11. Следовательно, фрагмент  $L(\alpha_a^j, \alpha_{b'+x}^j)$ ,  $x \in N$  выявленный таким образом, в общем случае не будет характеризоваться сохранением ЛГН.

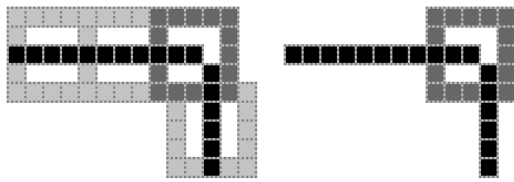


Рис. 11. Проблемы при фиксации изменения ЛГН

С целью решения указанной проблемы определим дополнительные правила размещения ЭП.

1. Если  $n_{in}^p \notin \eta_{in}^{fix}$  и/или  $n_{out}^p \notin \eta_{out}^{fix}$ , то разместим ЭП  $\Pi_p^j$ ,  $\alpha_p^* \equiv \alpha_t^j$ ,  $\alpha_t^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ ,  $t \in N$ , таким образом, чтобы  $\alpha_p^* \equiv \alpha_{t-1}^j$ ,  $\alpha_{t-1}^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ , и проверим выполнение

условий сохранения ЛГН:  $n_{in}^{p-1} \in \eta_{in}^{fix}$ ,  $n_{out}^{p-1} \in \eta_{out}^{fix}$ .

2. Если  $n_{in}^{p-1} \notin \eta_{in}^{fix}$  и/или  $n_{out}^{p-1} \notin \eta_{out}^{fix}$ , то снова выполним пункт 1.

Таким образом, при формировании покрытия пути атомарный элемент  $\alpha_a^j \in \xi_{in}^j$ ,  $\alpha_b^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ ,  $\xi_{out}^j \in \Pi_p^j$ , представляет собой начальный АЭ фрагмента, характеризующегося сохранением ЛГН, а АЭ  $\alpha_h^j \in \xi_{out}^j$ ,  $\alpha_h^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ ,  $\xi_{out}^j \in \Pi_p^j$  – конечный. Продолжение формирования покрытия пути следует производить с учетом описанных правил, за исключением того, что элемент покрытия  $\Pi_{p+1}^j$  следует расположить таким образом, чтобы  $\alpha_{k^*}^j \in \xi_{in}^{p+1}$ ,  $\alpha_{k^*}^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ ,  $\xi_{in}^{p+1} \in \Pi_{p+1}^j$ , где  $k^*$  – номер АЭ на пути  $L_j$  такой, что  $\alpha_{k^*-1}^j \in \xi_{out}^p$ ,  $\xi_{out}^p \in \Pi_p^j$ , и снова зафиксировать множества номеров  $\eta_{in}^{fix}$ ,  $\eta_{out}^{fix}$  АЭ, составляющих  $\xi_{in}^{p+1}$  и  $\xi_{out}^{p+1}$ , как показано на рис. 12.

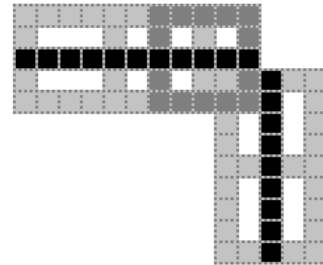


Рис. 12. Покрытие пути с учетом дополнительных правил расположения элементов покрытия

Поскольку описанный способ покрытия пути с применением ЭП позволяет избежать неточностей, возникающих при определении изменений ЛГН на пути, применение данного подхода является целесообразным при формировании моделей цифровых изображений.

### Заключение

Актуальность проблемы сегментации, моделирования и распознавания знаков изображений произвольной природы обусловила необходимость усовершенствования существующих и разработки новых подходов к ее решению.

Использование ГТ-объектов в качестве объектов моделирования и распознавания позволило учесть дискретную структуру цифровых изображений, а также избежать проблем, связанных с применением математических категорий всюду плотных множеств для растровых цифровых изображений.

Определение элемента покрытия как предмета исследования помогло избежать проблем, присущих современным методам моделирования и сегментации цифровых изображений, в частности, необходимости задания априорно заданных признаков, введения пороговых величин, мер близости и т.д., а определение правил размещения ЭП позволило формировать качественные модели изображений с целью их дальнейшего распознавания.

Полученные результаты предопределили целесообразность исследований в области моделирования и распознавания изображений с применением элементов покрытия.

#### Список использованной литературы

1. Vernon D. Machine vision. Automated visual inspection and robot vision [Text] / D. Vernon. – W: Prentice Hall International (UK) Ltd., 1991. – 260 p.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Мельник А.-В. В. Моделируемость ГТ-объекта на дискретном множестве атомарных элементов [Текст] / А.-В. В. Мельник, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Вісник ХНТУ № 4 (33). – Херсон : ХНТУ. – 2008. – С. 140 – 146.
5. Мельник А.-В. В. Проблема скелетизации при проектировании систем распознавания цифровых изображений [Текст] / А.-В. В. Мельник, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Вісник Донецького національного університету. Серія А. Природничі науки. – Донецьк : ДонНУ, 2008. – № 2. – С. 502 – 509.
6. Мельник А.-В. В. Способ формирования ГТ-объектов образов изображений на множестве атомарных элементов [Текст] / А.-В. В. Мельник, С. В. Мышко, Д. В. Шевцов // Праці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2009. – Вып. 18. – С. 14 – 18.
7. Мышко С. В. Моделирование и опознавание знаков изображений планиметрических объектов на дискретном множестве атомарных элементов : учебное пособие [Текст] / С. В. Мышко, Д. В. Шевцов. – Донецк : ДонНУ, 2006. – 45 с.
8. Мышко С. В. Основные теоретические положения моделирования знаков изображений, подлежащих распознаванию в интеллектуальных робототехнических системах : учебное пособие [Текст] / С. В. Мышко, Д. В. Шевцов. – Донецк : ДонНУ, 2006. – 75 с.
9. Мышко С. В. Моделирование знаков элементарными стратегиями [Текст] / С. В. Мышко, Е. В. Шевчук, Д. В. Шевцов // Вычислительная техника в информационных и управляющих системах : 1-я международная научно-практическая конференция – Мариуполь : ПГТУ. – 2000. – С. 79 – 80.
10. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology [Text] / J. Serra. – London, Ac. Press. – 1982. – Vol. I. – 610 p.
11. Сопин С. А. К вопросу о разработке способа автоматического выявления и моделирования фрагментов знаков изображений произвольной природы [Текст] / С. А. Сопин, Д. В. Шевцов // Вестник ХНТУ. – Херсон, 2012. – № 1(44). – С. 312 – 319.
12. Фу К. Робототехника : пер. с англ. [Текст] / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. – М. : Мир, 1989. – 624 с.
13. Хорн Б. К. П. Зрение роботов : пер с англ. [Текст] / Б. К. П. Хорн. – М : Мир, 1989. – 487 с.
14. Шевчук Е. В. Моделирование знаков произвольной природы на дискретных множествах с целью их дальнейшего опознавания [Текст] / Е. В. Шевчук, В. В. Котвинский // «ГрафиКон'2002» : 12-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению. – Нижний Новгород, 2002. – С. 268 – 272.
15. Шевчук Е. В. Разработка метода моделирования знаков произвольной природы на дискретных множествах [Текст] / Е. В.



Шевчук // «Автоматика – 2002»: международная конференция. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – С. 172 – 175.

16. Peng Y. A Normalized Local Binary Fitting Model for Image Segmentation [Text] / Y Peng, F.Liu, S Liu // 4-th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, INCoS 2012.

DOI : 10.1109/iNCoS.2012.119.

17. Song J. b. Eyebrow Segmentation Based on Binary Edge Image [Text] / J. a. b. Song, L. a. Wang, W. a. Wang // Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 7389 LNCS. – 2012. – P. 350 – 356.

DOI : 10.1007/978-3-642-31588-6\_45.

URL: <http://sci-hub.org/pdfcache/cdcb4a40bfbf81bc31aacdfcda3254ba.pdf>.

18. Mtimet J. A Layer-Based Segmentation Method for Compound Images [Text] / J. Mtimet, H. Amiri // 10-th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2013, art. no. 6564005.

DOI : 10.1109/SSD.2013.6564005.

URL: <http://libgen.org/scimag5/10.1109/SSD.2013.6564005.pdf>.

Получено 14.08.2013

#### References

1. Vernon D. Machine Vision. Automated Visual Inspection and Robot Vision [Text] / D. Vernon. – W : Prentice Hall International (UK) Ltd., 1991. – 260 p. [in English].

2. Gonzales R. Digital Image Processing [Text] / R. Gonzales, R. Woods. – Moscow : Technosphere, 2005. – 1072 p. [in Russian].

3. Gonzales R. Digital Image Processing [Text] / R. Gonzales, R. Woods. – Moscow : Technosphera, 2005. – 1072 p. [in Russian].

4. Melnik A.-V. V. GT-modeling Properties of the Object on a Discrete set of Atomic Elements [Text] / A.-V. V. Melnik, S. V. Myshko, D. V. Shevtsov // Herald of HNTU № 4(33). – Kherson : HNTU, 2008. – P. 140 – 146 [in Russian].

5. Melnik A.-V. V. Skeletonization Problem in the Design of the Recognition of Digital Images [Text] / A.-V. V. Melnik, S. V. Myshko,

D. V. Shevtsov // Herald of DonNU. Series A. Natural sciences. – Donetsk : DonNU, 2008. – № 8 – P. 502 – 509 [in Russian].

6. Melnik A.-V. V. A Method of Forming Images of Objects GT-images on the set of Atomic Elements [Text] / A.-V. V. Melnik, S. V. Myshko, D. V. Shevtsov // Science Collection Proceedings of the East-Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl. – Lugansk, 2009. – Ed. 18. – P. 14 – 18 [in Russian].

7. Myshko S. V. Modeling and Identification Signs Planimetric Images of Objects on a Discrete set of Atomic Elements: the Manual [Text] / S. V. Myshko, D. V. Shevtsov. – Donetsk : Donetsk National University, 2006. – 45 p. [in Russian].

8. Myshko S. V. The Basic Theoretical Concepts of Modeling Character Image to be Recognized in Intelligent Robotic Systems: the Manual [Text] / S. V. Myshko, D. V. Shevtsov. – Donetsk : Donetsk National University, 2006. – 75 p. [in Russian].

9. Myshko S. V. Modeling Elementary Signs Strategies [Text] / S. V. Myshko, E. V. Shevchuk, D. V. Shevtsov // Sat Report of the First International Scientific Conference "Computers in of information and Control Systems." – Mariupol : Perm State Technical University, 2000. – P. 79 – 80 [in Russian].

10. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology [Text] / J. Serra. – London: Ac. Press, 1982. – Vol. I. – 610 p. [in English].

11. Sopin S. A. On a Method of Automatic Identification and Modeling of Image Fragments Signs of an Arbitrary Nature [Text] / S. A. Sopin, D. V. Shevtsov // Herald HNTU. – Kherson, 2012. – № 1 (44). – P. 312 – 319 [in Russian].

12. Fu K. S. Robotics [Text] / K. S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee. – Moscow : Mir, 1989. – 624 p. [in Russian].

13. Horn B. K. P. Robot Vision [Text] / B. K. P. Horn. – Moscow : Mir, 1989. – 487 p. [in Russian].

14. Shevchuk E. V. Modeling of Characters on the Arbitrary Nature of Discrete Sets for Their Further Identification [Text] / E. V. Shevchuk, V. V. Kotvinsky // "GrafiKon'2002": 12-th International Conference on computer

graphics and computer vision. – Nizhny Novgorod, 2002. – P. 268 – 272 [in Russian].

15. Shevchuk E. V. Development of a Method of Modeling Arbitrary Nature of Signs on Discrete Sets [Text] / E. V. Shevchuk // "Automatics – 2002" Sat Reports of the International Conference. – Donetsk : DonNTU, 2002. – P. 172 – 175 [in Russian].

16. Peng Y. A Normalized Local Binary Fitting Model for Image Segmentation [Text] / Y Peng, F.Liu, S Liu // 4-th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, INCoS 2012 [in English]. DOI : 10.1109/INCoS.2012.119.

17. Song J. b. Eyebrow Segmentation Based on Binary Edge Image [Text] / J. a. b. Song, L. a. Wang, W. a. Wang // Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 7389 LNCS. – 2012. – P. 350 – 356 [in English].

DOI : 10.1007/978-3-642-31588-6\_45.  
URL: <http://sci-hub.org/pdfcache/cdcb4a40bf81bc31aacdfcda3254ba.pdf>.

18. Mtimet J. A Layer-Based Segmentation Method for Compound Images [Text] / J. Mtimet, H. Amiri // 10-th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2013, art. no. 6564005 [in English].

DOI : 10.1109/SSD.2013.6564005.  
URL: <http://libgen.org/scimag5/10.1109/SSD.2013.6564005.pdf>.



Сопин  
Сергей Александрович,  
аспирант каф. Приклад-  
ной математики и теории  
систем управления.  
ДонНУ



Шевцов  
Дмитрий Валерьевич,  
канд. техн. наук, доц.,  
в.о. зав. каф. Приклад-  
ной математики и тео-  
рии систем управления  
ДонНУ