

УДК 681.5.015

Сопин С.А.,
Шевцов Д.В., к.т.н., доц.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ГТ-ОБЪЕКТОВ ЗНАКОВ НА МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Донецкий национальный университет

sopin1988@gmail.com

Определен способ формирования моделей ГТ-объектов знаков на дискретном множестве атомарных элементов, основанный на выявленных фрагментах путей, характеризующих сохранением локально-глобального направления движения устройства фиксации следа. Применение описанного подхода позволило формировать качественные, с точки зрения результатов последующего анализа и распознавания, модели изображений в автоматическом режиме

Ключевые слова: элемента покрытия, локально-глобальное направления

Введение

С целью решения задачи автоматической сегментации и моделирования знаков изображений произвольной природы предложен способ выявления фрагментов путей, характеризующих сохранением локально-глобальных направлений (ЛГН) движения устройства фиксации следа. Обосновано производить выявление таких фрагментов при помощи элемента покрытия (ЭП), позволяющего отслеживать изменение ЛГН на знаке. На основании конструктивного определения ЭП в виде объединения П-центра, П-границы и П-тела сформированы правила расположения элементов покрытия и, как следствие, способ формирования покрытия пути в целом. Применение такого подхода позволило избежать проблем, присущих современным методам моделирования и сегментации изображений.

Описанный способ позволил выявить фрагменты изображений, характеризующиеся сохранением ЛГН, однако, в предыдущих работах авторов приведено описание инструментария, необходимого для построения моделей знаков изображений, без конструктивного определения указанных моделей. Результатом покрытия изображения элементами покрытия является множество фрагментов, которые в совокупности формируют исходное изображение. Таким образом, для даль-

нейшего моделирования, анализа и распознавания необходимо абстрагироваться от незначимой информации, содержащейся в выявленных фрагментах, т.е. сформировать модель изображения, предполагающую повышение точности распознавания.

Исходя из этого, целью данной работы является определение способа формирования множественных моделей знаков изображений, состоящих из выявленных в процессе покрытия фрагментов.

Формирование модели фрагмента пути, характеризующегося сохранением ЛГН

Способ построения покрытия изображений с применением ЭП [5], позволил выявлять фрагменты изображений, характеризующиеся сохранением ЛГН, однако, в связи с тем, что целью выявления данных фрагментов является формирование модели изображения и ее последующее распознавание, необходимо определить правила ее построения.

Так как, согласно [5], автоматическому или автоматизированному анализу, с целью дальнейшего распознавания в СТЗ, подлежит образ ГТ-объекта на множестве атомарных элементов [3] (АЭ), как связанное множество путей $\{L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)\}$, $\hat{j} = \overline{1, n'}$, $n' \in N$, не ограничивая общности проводимых рассуждений, с целью обес-

печения вариативности при выявлении фрагментов изображений, характеризующихся сохранением ЛГН, будем полагать, что минимальный размер сегмента ЭП [5] равен трем, т.е. $mes(\xi) = 3$. Пример образа GT-объекта изображен на рис. 1.

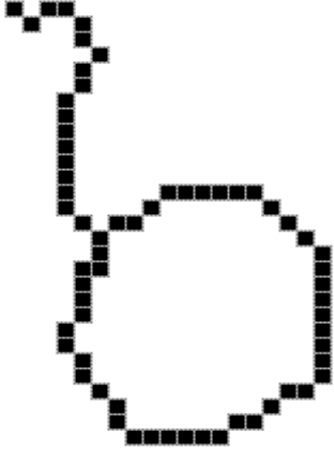


Рис. 1. Пример образа GT-объекта

Для упрощения дальнейших рассуждений, не ограничивая их общности, с целью упрощения записи, в качестве моделируемого объекта будем рассматривать один из путей, составляющих GT-объект: $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $j \in \{1, \dots, n'\}$, $n' \in N$.

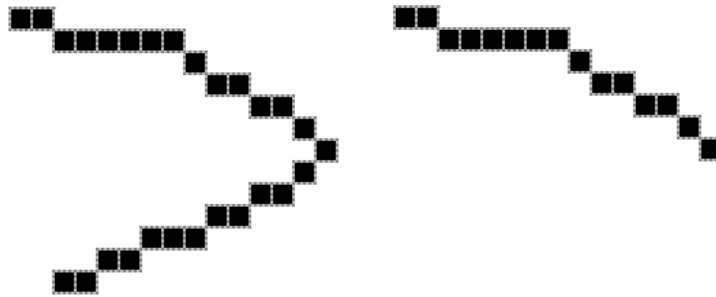


Рис. 2. Путь и его фрагмент, характеризуемый сохранением ЛГН

Исходя из данного определения и правил расположения ЭП на пути [5], следует, что любой путь $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $j \in N$, можно представить в виде совокупности его фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, т.е. $\forall L_j = \bigcup_{m=1}^n L_j^m$,

$$L_j^m : \forall \Pi_q \in L_j^m, \quad n_{in}^q \in \eta_{in}^{fix}, \quad n_{out}^q \in \eta_{out}^{fix},$$

В связи с тем, что в [5] приведены правила выявления фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, но определение самих фрагментов формализовано не было, введем понятие фрагмента пути, характеризующегося сохранением ЛГН.

Определение 1. Фрагментом пути $L_j(\alpha_a, \alpha_b)$, характеризующимся сохранением ЛГН, называется путь $\square L_k^j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ такой, что $\Lambda(\square L_k^j) \subset \Lambda(L_j)$ и для любой пары ЭП Π_1^k, Π_p^k размещенных на данном пути выполнены условия сохранения ЛГН, т.е. $\forall \Pi_1^k, \Pi_p^k : \Pi_1^k \Rightarrow \square L_k^j, \quad \Pi_p^k \Rightarrow \square L_k^j$, $n_{in}^1 \in \eta_{in}^{fix}$, $n_{out}^1 \in \eta_{out}^{fix}$ и $n_{in}^p \in \eta_{in}^{fix}$, $n_{out}^p \in \eta_{out}^{fix}$, $\Lambda(\xi_{in}^1) \subset \Pi_1^k$, $\Lambda(\xi_{out}^1) \subset \Pi_1^k$, $\Lambda(\xi_{in}^p) \subset \Pi_p^k$, $\Lambda(\xi_{out}^p) \subset \Pi_p^k$, где n_{in}^1 – номер АЭ $\alpha_{in}^1 : \alpha_{in}^1 \in \xi_{in}^1 \cap \square L_k^j$, n_{in}^p – номер АЭ $\alpha_{in}^p : \alpha_{in}^p \in \xi_{in}^p \cap \square L_k^j$, и n_{out}^1, n_{out}^p – номера АЭ $\alpha_{out}^1 : \alpha_{out}^1 \in \xi_{out}^1 \cap \square L_k^j$, $\alpha_{out}^p : \alpha_{out}^p \in \xi_{out}^p \cap \square L_k^j$ соответственно. Пример фрагмента пути приведен на рис. 2.

$\forall \alpha_{s_{in}} \in \xi_{in}^1, \quad s_{in} \in \eta_{in}^{fix}, \quad \forall \alpha_{s_{out}} \in \xi_{out}^1, \quad s_{out} \in \eta_{out}^{fix}$. Так как основной задачей при выявлении указанных фрагментов является абстрагирование от изменений локальных направлений движения [4, 5], и, принимая во внимание тот факт, что фрагменты, выявленные при помощи покрытия пути ЭП, могут содержать такие изменения, с целью формирования модели

знака изображения и ее последующего опознавания, выявленные фрагменты целесообразно моделировать при помощи путей, которые не содержат локальных изменений направления движения, однако характеризуются сохранением ЛГН. В декартовой системе координат примером такого пути является отрезок прямой. Учитывая тот факт, что D-отрезок [3] определен как аналог отрезка прямой, заданной во всюду плотном множестве, он наследует все его свойства. Следовательно, для проведения дальнейших рассуждений, докажем, что D-отрезок характеризуется сохранением как локального, так и глобального направления движения.

Теорема 1:

Для любого D-отрезка $\overline{L}_k(\alpha_a^k, \alpha_b^k)$ верно, что для любых элементов покрытия $\Pi_p^k, \Pi_{p'}^k$, размещенных на данном отрезке выполняются условия сохранения направления движения [5], т. е.

$$\forall \Pi_p^k, \Pi_{p'}^k : \Pi_p^k \Rightarrow \overline{L}_k, \Pi_{p'}^k \Rightarrow \overline{L}_k, n_{in}^p \in n_{in}^{fix}, n_{out}^p \in n_{out}^{fix}, n_{in}^{p'} \in n_{in}^{fix}, n_{out}^{p'} \in n_{out}^{fix}, \text{ где } p, p' \in N.$$

Доказательство: Пусть дан отрезок \overline{L}_k , с характеристиками $\lambda = \frac{|j_b - j_a|}{|i_b - i_a|}$, $|j_b - j_a| \neq 1, |i_b - i_a| \neq 1$. Не ограничивая общности проводимых рассуждений предположим, что $|j_b - j_a| > |i_b - i_a|$ и сформируем покрытие пути используя ЭП с размером t и минимальным размером сегмента $mes(\xi) = 3$.

Предположим, что условия сохранения направления движения не выполняются. Для упрощения дальнейших рассуждений, не ограничивая их общности, учитывая правила расположения ЭП, предположим, что $n_{out}^2 \notin n_{out}^{fix}$ или $n_{in}^2 \notin n_{in}^{fix}$.

Воспользуемся определением D-отрезка [3] для описанного случая:

$$i_h = \begin{cases} \arg \min_{\forall \alpha(i, j_h) \in D(\alpha_a, \alpha_b)} \left\{ \lambda - \frac{|j_b - j_h|}{|i_b - i|} \right\}, \text{ если } |j_a - j_h| \leq |j_b - j_j|, \\ \arg \min_{\forall \alpha(i, j_h) \in D(\alpha_a, \alpha_b)} \left\{ \lambda - \frac{|j_a - j_h|}{|i_a - i|} \right\}, \text{ если } |j_a - j_h| > |j_b - j_j|; \end{cases} \quad (1)$$

$$j_h = \overline{\min\{j_a, j_b\} + 1, \max\{j_a, j_b\} - 1}.$$

Рассмотрим случай, когда $|j_a - j_h| \leq |j_b - j_j|$.

Подставив значение λ в (1) получим:

$$i_h = \arg \min_{\forall \alpha(i, j_h) \in D(\alpha_a, \alpha_b)} \left\{ \frac{|j_b - j_a|}{|i_b - i_a|} - \frac{|j_a - j_h|}{|i_a - i|} \right\}.$$

Таким образом, функция

$$\left| \frac{|j_b - j_a|}{|i_b - i_a|} - \frac{|j_a - j_h|}{|i_a - i|} \right| \text{ примет минимальное}$$

значение, если

$$\frac{|j_b - j_h|}{|i_b - i_h|} = \frac{|j_b - j_a|}{|i_b - i_a|},$$

то следовательно:

$$|i_b - i_h| = \frac{|j_b - j_h| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|}.$$

Учитывая, что путь – это упорядоченное множество связанных связей на дискретном множестве АЭ, перепишем формулу (2) в следующем виде:

$$|i_b - i_h| = \left[\frac{|j_b - j_h| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + \hat{\delta}, \hat{\delta} \in \{-1, 0, 1\}.$$

Так как размер ЭП равен t , т.е. $\rho(\Pi_1^k) = t$ и $\rho(\Pi_2^k) = t$, то рассмотрим АЭ, принадлежащие пересечению множества атомарных элементов пути и элементов покрытия Π_1^k и Π_2^k : α_a, α_{a+t-1} и α_{a+t-1} ,

$\alpha_{a+2(t-1)}$ соответственно. Подставим индексы данных АЭ в (3), получим:

$$|i_b - i_{a+t-1}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+t-1}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + \hat{o},$$

$$\hat{o} \in \{-1, 0, 1\};$$

$$|i_b - i_{a+2(t-1)}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+2(t-1)}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + \hat{o},$$

$$\hat{o} \in \{-1, 0, 1\}.$$

Учитывая определение D-отрезка и правила расположения ЭП на пути, если $n_{out}^2 \notin n_{out}^{fix}$ или $n_{in}^2 \notin n_{in}^{fix}$, то

$$|i_b - i_{a+t-1}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+t-1}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + \hat{o}',$$

$$\hat{o}' \in Z \setminus \{-1, 0, 1\},$$

$$|i_b - i_{a+2(t-1)}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+2(t-1)}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + \hat{o}',$$

$$\hat{o}' \in Z \setminus \{-1, 0, 1\},$$

что противоречит (1.2), следовательно, локальное и глобальное направление

движения сохраняется на любом участке D-отрезка $\overline{L_k}$.

Для случая, когда $|j_a - j_h| > |j_b - j_j|$, доказательство проводится аналогичным способом. Теорема доказана.

Следовательно, любой фрагмент пути, характеризуемый сохранением локально-глобального направления движения целесообразно моделировать при помощи D-отрезка. Учитывая это, введем понятие модели фрагмента, характеризующего сохранением ЛГН.

Определение 2. Моделью фрагмента $\overline{L_k^j}$, характеризуемого сохранением ЛГН, называется D-отрезок $\overline{L_{mdl}^k}$, начальный и конечный АЭ которого совпадает с начальным и конечным АЭ моделируемого фрагмента.

Пример такой модели представлен на рис. 3.



Рис. 3. Фрагмент пути, характеризующийся сохранением ЛГН, и его модель

В связи с тем, что, как говорилось ранее, автоматическому или автоматизированному моделированию подлежит образ GT-объекта как связное множество путей, необходимо моделировать не только выявленные фрагменты путей, но и знак в целом, включая все составляющие его пути.

Модель пути и знака

В связи с тем, что любой путь можно представить в виде совокупности фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, полученных при использовании ЭП с одинаковыми характеристиками, введем определение модели пути.

Определение 3. Моделью пути $\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)$ называется множество моделей всех его фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, выявленных при использовании ЭП с одинаковым размером и одинаковым размером секторов, т.е. $\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j) = \{\overline{L_{mdl}^k}\}$, $\forall \overline{L_{mdl}^k}, \overline{L_{mdl}^k} \in \Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)$: $\rho(\Pi_p^k) = \rho(\Pi_p^{k'})$ и $mes(\xi_p^k) = mes(\xi_p^{k'})$, где $\Pi_p^k \Rightarrow \overline{L_{mdl}^k}$, $\Pi_p^{k'} \Rightarrow \overline{L_{mdl}^{k'}}$, $\Lambda(\overline{L_{mdl}^k}) \subset \Lambda(L_j)$, $\Lambda(\overline{L_{mdl}^{k'}}) \subset \Lambda(L_j)$, $\forall k \neq k'$, $k \in \{1, 2, \dots, n\}$, $k' \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Таким образом, изменяя размер элемента покрытия и его сегмента, можно как детализировать, так и огрублять ре-

зультуриують модель пути. Пример та-

кой модели проиллюстрирован на рис. 4.

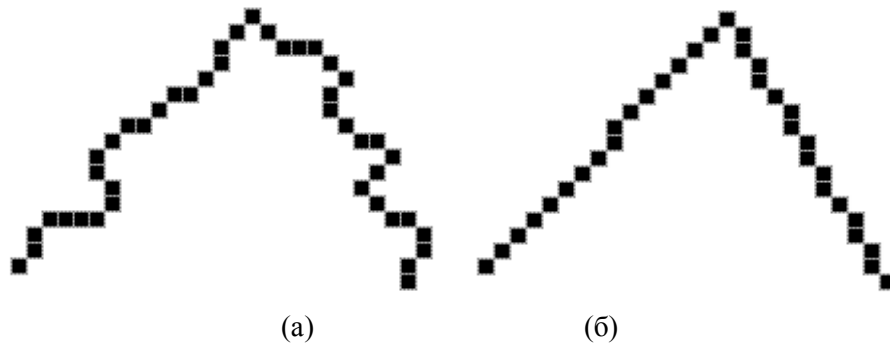


Рис. 4. Путь (а) и его модель (б)

В связи с тем, что, как говорилось ранее, автоматическому или автоматизированному анализу подлежит образ ГТ-объекта на множестве АЭ как связанное множество путей, для того, чтобы сгенерировать модель ГТ-объекта в целом, необходимо сформировать модели каждо-

го из путей, составляющих данный объект. Следовательно, введем определение модели знака.

Определение 4. Моделью знака изображения М называется множество моделей всех путей составляющих данный знак, т.е.

$$M = \{\Psi_{(\xi_1, \Pi_1)}(L_1), \Psi_{(\xi_2, \Pi_2)}(L_2), \dots, \Psi_{(\xi_q, \Pi_p)}(L_j)\}, j \in \{1, \dots, n'\}, n' \in N, p, q \in N.$$

Однако, определить характеристики ЭП, при которых результирующая модель пути полностью соответствует своему концепту, весьма затруднительно, а иногда и вовсе невозможно. В связи с этим, задача однозначного формирования наилучшей модели знака решения не имеет.

Вследствие этого, для решения указанной проблемы, целесообразно формировать множество моделей знака, полученных при помощи покрытия путей ЭП с различными характеристиками. Таким образом, результатом покрытия знака изображения, а также его последующего моделирования, является множество моделей данного знака, т.е. $\bar{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_{n^*}\}, n^* \in N$. Причем, каждая из моделей $M_s, s \in \{1, \dots, n^*\}, n^* \in N$, составляющих данное множество, представляет собой уникальный набор моделей путей, сформированных при использовании ЭП с разными характеристиками, т.е. $M_s \setminus M_{s'} \neq \emptyset, \forall s \neq s', s, s' \in \{1, \dots, n^*\}, n^* \in N$.

Указанный подход позволяет решить проблему невозможности выбора наилучших характеристик ЭП и обеспечить возможность нахождения модели соответствующей своему концепту.

Учитывая, что основной целью формирования полученного множества моделей исходного изображения является его распознавание, целесообразно определить понятие наилучшей модели, однако рассмотрение этого вопроса выходит за рамки данной статьи.

Выводы

Актуальность проблемы автоматизированной или автоматической обработки знаков цифровых изображений произвольной природы, а также недостатки, присущие современным методам сегментации и моделирования изображений, предопределили целесообразность разработки нового подхода к решению указанных задач.

Использование ГТ-объекта в качестве объекта моделирования позволило избежать проблем, связанных с применением математических категорий всюду плотных множеств к анализу дискретных

изображений, а конструктивное определение элемента покрытия – проблем, связанных с фиксированным положением сектора при формировании моделей изображений с использованием элементов представления.

Результаты изучения свойств D-отрезков предопределили целесообразность их использования при моделировании фрагментов пути, характеризующихся сохранением ЛГН, что позволило формально определить понятие модели пути в целом.

Невозможность выбора характеристик ЭП, при которых результирующая модель пути полностью соответствует своему концепту, обусловила некоторые ограничения при построении моделей знаков изображений, вследствие чего возникла необходимость формирования множественной модели.

Список литературы

1. *Мельник А.В.* Моделируемость GT-объекта на дискретном множестве атомарных элементов / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вісник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ, 2008. – № 4 (33). – С. 140-146.
2. *Мышко С.В.* Моделирование и опознавание знаков изображений планиметрических объектов на дискретном множестве атомарных элементов: Учебное пособие / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов. – Донецк: ДонНУ, 2006. – 45 с.
3. *Мышко С.В.* Основные теоретические положения моделирования знаков изображений, подлежащих распознаванию в интеллектуальных робототехнических системах: Учебное пособие / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов. – Донецк: ДонНУ, 2006. – 75 с.
4. *Сопин С. А.* К вопросу о разработке способа автоматического выявления и моделирования фрагментов знаков изображений произвольной природы / С.А. Сопин, Д.В. Шевцов // Вестник ХНТУ. – Херсон, 2012. – № 1(44). – С. 312–319.
5. *Сопин С.А.* Определение предмета исследования в задаче автоматической сегментации GT-объектов знаков на множестве атомарных элементов / С.А. Сопин, Д.В. Шевцов // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса, 2013. – №.11(87). – С. 122-131.
6. *Шевчук Е.В.* Моделирование знаков произвольной природы на дискретных множествах с целью их дальнейшего опознавания / Е.В. Шевчук, В.В. Котвинский // Сб. докладов 12й Международной Конференции по Компьютерной Графике и Машинному Зрению «ГрафиКон'2002». – Нижний Новгород, 2002. – С. 268-272.
7. *Шевчук Е.В.* Разработка метода моделирования знаков произвольной природы на дискретных множествах / Е.В. Шевчук // Сб. докладов международной конференции «Автоматика - 2002». – Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 172-175.

Статью представлено в редакцию 19.05.2014