

## К вопросу о распознавании контуров

*А.М. Казанцева, Е.А. Рыжкова, Д.В. Масанов*

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина*

**Аннотация:** В статье рассматривается методика распознавания контуров на первичном изображении. Разработан алгоритм поиска абсолютного минимума функционала на изображении.

**Ключевые слова:** контур, алгоритм, дефект, распознавание, раскрой, эталонный кадр, поиск минимума.

При автоматическом распознавании контуров кож и обработке полученных изображений, необходимо разработать алгоритм и методику, позволяющие осуществлять дальнейшее использование полученной информации при автоматической раскладке и раскрое [1].

Основные этапы распознавания и их взаимосвязь представлены на рис.1.



Рис. 1. – Этапы распознавания контуров

При распознавании нам необходимо разделить полученное изображение по целевым признакам на основной контур и контуры, которые определяют дефекты на коже. При этом надо идентифицировать каждый получившийся контур по площади, истинному размеру самого изображения, соотношению между собой этих площадей, месту контуров дефектов на основном контуре, и, как следствие, выдать информацию о полезной площади кожи и координатах расположения на ней дефектов [2].

При идентификации изображение фиксируется камерой (рис.1 блок 2), затем дискретизируется, квантуется по яркости и кодируется (рис.1 блок 3). Одновременно с этим происходит обработка полученной информации, ее минимизация (рис.1 блок 4). В результате получаем многосвязный контур, из которого выделяем систему односвязных контуров, где есть внешний, являющийся распознаваемым контуром кожи, и внутренние, которые появляются в случае наличия дефектов (рис.1 блок 5). Таким образом происходит выделение внешнего и внутренних контуров (рис.1 блок 6) [2].

Данная структура может быть реализована микропроцессорной системой сбора и обработки информации.

Полученная информация позволяет работать с замкнутым контуром и рассчитать как полезную площадь кожи, так и координаты дефектов, а это, в свою очередь, существенно облегчает задачу автоматической раскладки лекал [3,4].

Рассмотрим особенности обработки информации, получаемой в процессе распознавания.

В простейшем случае, для распознавания контура надо иметь некий эталон, который показывает разницу между основным фоном и поверхностью, контур которой требуется определить, то есть для распознавания нужно иметь минимум два кадра. Один кадр содержит

---

распознаваемую поверхность, другой является эталоном, по которому эту поверхность можно отличить от основного фона [5, 6].

Пусть имеются два кадра  $K1$  и  $K2$ , где  $K1$  – кадр с распознаваемой поверхностью, а  $K2$  – эталонный кадр.

Примем допущения. Большинство элементов, наблюдаемых в кадре  $K1$ , наблюдаются и в кадре  $K2$ . Кроме того, в обоих кадрах наблюдаются элементы, не попавшие в другой кадр.

Чтобы определить контур на кадре  $K1$  необходимо выявить на обоих кадрах совпадающие элементы и установить между ними взаимно-однозначные соответствия [1, 3]. Другими словами, если пронумеровать элементы кадров  $K1$  и  $K2$ , то одинаковые элементы на обоих кадрах должны иметь одинаковые номера.

Для определения совпадений наложим кадры друг на друга так, чтобы связанные с ними системы координат  $xу$  совпали (рис.2). После выявления пар с близкими по своим значениям элементов, необходимо найти оптимальные, в некотором смысле, правила, позволяющие считать соответствующие элементы на кадрах  $K1$  и  $K2$  одинаковыми [3].

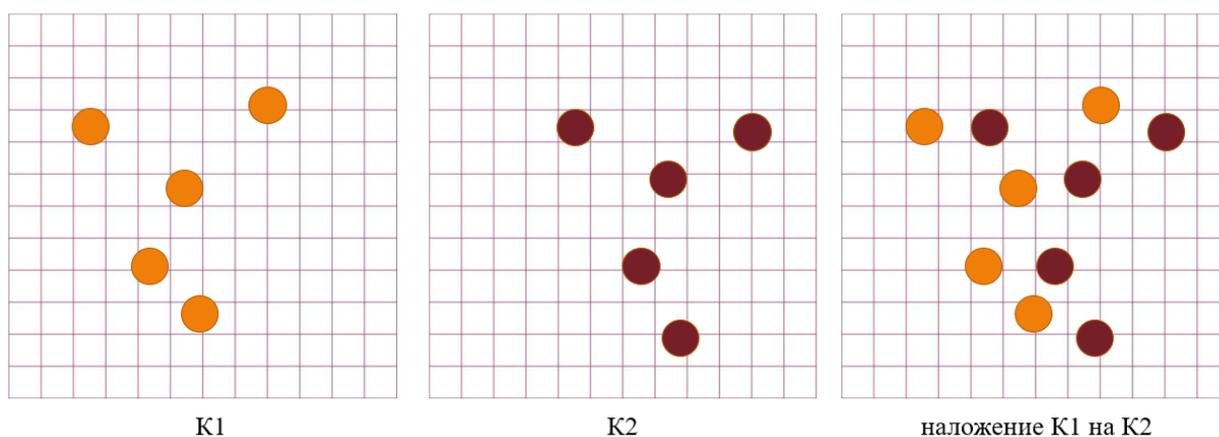


Рис.2. – Наложение исходных кадров

Из сказанного выше следует, что в рассматриваемом случае необходимо объединить соответствующие элементы на кадрах  $K1$  и  $K2$ , которые дают минимум функционалу вида:

$$\Phi(i, j) = \sum_i L(R_i, R_j), \quad (1)$$

где  $R_i$  и  $R_j$  – соответственно, радиус-векторы  $i$ -го и  $j$ -го элементов кадров  $K_1$  и  $K_2$  в системе координат  $xу$ ;  $L(R_i, R_j) = L_{ij}$  – функция стоимости объединения элементов  $i$  и  $j$  кадров  $K_1$  и  $K_2$  соответственно в пару  $(i, j)$ , равная квадрату расстояния между объединяемыми элементами на совмещенных кадрах.

При этом, необходимо учитывать:

$$\min_{(i,j) \in \Pi} \Phi(i, j) = \min_{(i,j) \in \Pi} \sum_{i=1}^{M_1} L(R_i, R_j), \quad (2)$$

где  $\Pi$  – множество пар  $(i, j)$ , удовлетворяющих условию не более, чем парного объединения элементов, то есть:

$$\begin{aligned} (ij) \in \Pi &\Rightarrow (i, k), (l, j) \notin \Pi_i; \\ i, l &= 1, 2, \dots, M_1; j, k = 1, 2, \dots, M_1; k \neq j; l \neq i \end{aligned} \quad (3)$$

Используя методы динамического программирования, построим алгоритм поиска минимума функционала  $\Phi(i, j)$ .

Для этого запишем выражение (2) в виде:

$$\begin{aligned} \min_{(i,j) \in \Pi} \Phi(i, j) = & \\ & \left( \min_{j \in \hat{M}_2} L_{M_1 j} \right) + \left( \min_{(i;j) \in \Pi^{M_1-1}} \sum_{i=1}^{M_1-1} L_{ij} \right) + \\ \min \left\{ \begin{array}{l} \min_{k \in (\hat{M}_2^{M_1-1})} L_{M_1 k} - \min_{j \in \hat{M}} L_{M_1 j}; \\ \min_{(i;k) \in \Pi^{M_1-1}} \sum_{i=1}^{M_1-1} L_{ik} - \min_{(i;l) \in \Pi^{M_1-1}} \sum_{i=1}^{M_1-1} L_{il} \end{array} \right. & \quad (4) \end{aligned}$$

где  $\hat{M}_2$  – множество элементов кадра  $K_2$ ;  $\Pi^{M_1-1}$  – множество пар  $(l, j)$  удовлетворяющих условию (3) при  $l = 1, 2, \dots, (M_1 - 1)$ ;  $j = 1, 2, \dots, M_2$ ;  $\hat{M}_2^{M_1-1}$  – множество элементов кадра  $K_2$  с учетом исключения из этого множества элементов кадра  $K_2$ , входящих в множество пар  $(l, j)$  удовлетворяющих условию (3) [2].

Применив выражение (4) для величин:

$$\min_{(i;j) \in \Pi^{M_1-2}} \sum_{i=1}^{M_1-2} L_{ij}; \quad \min_{(i;j) \in \Pi^{M_1-3}} \sum_{i=1}^{M_1-3} L_{ij}; \quad \min_{(i;j) \in \Pi^{(2)}} \sum_{i=1}^2 L_{ij}$$

И, сделав ряд преобразований, окончательно получим:

$$\min_{(i,j) \in \Pi} \Phi(i, j) = \left( \sum_{i=1}^{M_1} \min_{j \in \widehat{M}_2} L_{ij} \right) + \sum_{i=1}^{M_1-1} \min \left\{ \begin{array}{l} \min_{k \in (\widehat{M}_2^{(i)})} L_{i+1,k} - \min_{j \in \widehat{M}_2} L_{i+1,j}; \\ \min_{(l;k) \in \Pi_i} \sum_{l=1}^i L_{lk} - \min_{(l;j) \in \Pi^{(i)}} \sum_{l=1}^i L_{lj} \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $\Pi^{(i)}$  – множество пар  $(i, j)$ , удовлетворяющих условию (3) при  $l = 1, 2, \dots, i$ ;  $j = 1, 2, \dots, M_2$ ;  $\widehat{M}_2^{(i)} = \frac{\widehat{M}_2}{M^{(i)}}$ , где  $\widehat{M}^{(i)}$  – множество элементов К2 входящих в множество  $\Pi^{(i)}$ ;  $\Pi_i$  – множество пар  $(l, k)$  удовлетворяющих условию (3) при  $l = 1, 2, \dots, i$ ;  $k \in \frac{\widehat{M}_2}{\arg \min_{j \in \widehat{M}_2} L_{i,j}}$  [7].

Имея выражение для поиска минимума, построим алгоритм (рис.3).

На первом этапе на совмещенном кадре каждому элементу кадра К1 ставится в соответствие ближайший элемент кадра К2 (рис.4).

Для этого, для каждого  $i$ -го элемента кадра К1 определяются значения приращений  $\Delta(i, j) = L_{ij} - \min_{j \in \widehat{M}_2} L_{ij}$  до ближайших к нему элементов кадра К2.

Из рис.4а следует, что на первом этапе получены следующие пары элементов  $(1,1), (2,1), (3,2), (4,4), (5,5)$ . Эти пары соответствуют первой сумме выражения (5). Если бы они удовлетворяли условию (3), то эта сумма была бы абсолютным минимумом функционала  $\Phi(i, j)$ , так как все члены второй суммы были бы равно нулю. Но в нашем случае элементы 1 и 2 кадра К1 соответствуют элементу 1 кадра К2 [8, 9]. Таким образом условие (3) не выполняется и возникает конфликт, который необходимо устранить.



Рис.3. – Алгоритм поиска минимума функционала  $\Phi(i, j)$

Это может быть реализовано за счет временного исключения спорного элемента кадра K2 и сравнения полученных в результате этого приращений функций стоимости конфликтующих элементов кадра K1. В нашем случае:

$$\Delta(1,1) < \Delta(2,1),$$

поэтому получаем следующий набор пар (1,1), (2,2), (3,2), (4,4), (5,5).

В результате возникает новый конфликт элементов, но уже по отношению к элементу 3 кадра K1. Теперь необходимо решить вопрос об оптимальном объединении элементов 1, 2 и 3 кадра K1.

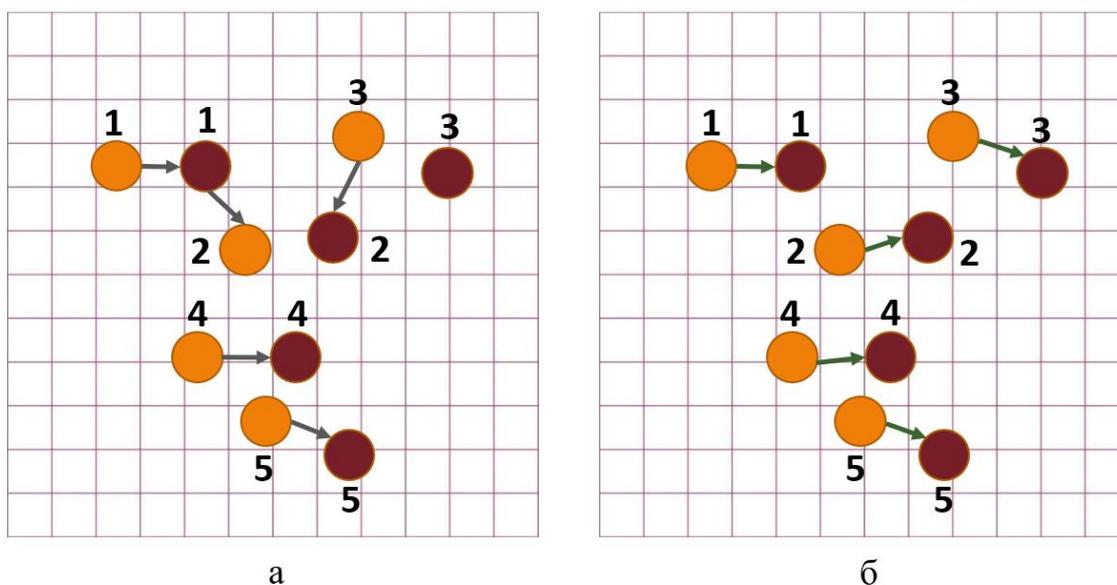


Рис.4. – Совмещение элементов кадров K1 и K2

Это изменение определяется выбором самого маленького из приращений [6, 10]. На данном этапе получаем следующий набор пар: (1,1), (2,2), (3,3), (4,4), (5,5). Этот набор удовлетворяет условию (3), и, следовательно, соответствующая ему сумма функций стоимости минимальна.

Таким образом, число операций сравнения после выполнения  $n$ -ого шага, составит  $S = \frac{n(n+1)}{2}$  [11].

В случае выявления еще одного конфликтного элемента, например, с номером  $i+1$ , процесс разрешения конфликтов продолжается, пока либо не получит нового продолжения, либо не разрешится.

Как следует из (2):

$$\min_{(i_1 j) \in \bar{\Pi}} \Phi(i, j) = \min_{(i_1 j) \in \bar{\Pi}} \Phi(i, j) = \min_{(i, j) \in \bar{\Pi}} \sum_{i=1}^{M_2} L(R_i, R_j),$$

где  $\bar{\Pi}$  – множество пар  $(i, j)$ , удовлетворяющих условию не более чем парного объединения элементов.

Таким образом, мы получаем алгоритм поиска абсолютного минимума функционала  $\Phi(i, j)$ , начинающийся с сопоставления каждому элементу кадра K1 ближайшего элемента кадра K2, которое сводится к

предварительной оценке расширенного множества пар  $(i, j)$  и ее последующего уточнения путем разрешения конфликтов до достижения соблюдения условия (3). Но данная процедура может быть достаточно длительной, особенно, в случае наличия помех или нелинейных искажений.

### Литература

1. Казанцева А.М., Рыжкова Е.А. Поиск контуров заготовки из натуральной кожи в процессе раскроя методом кадровой разницы // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022). Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Москва, 2022. С. 52-55.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М: Техносфера, 2005. 1007 с.
3. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений – М.: Высш. школа, 1983. – 295 с.
4. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие. – Новосибирск, 2000. – 166 с.
5. Murashko F.V., Ryzhkova E.A., Vlasenko O.M. Search for an object in an image by image difference method to find contours of a natural leather blank in pattern cutting processs. Fibre Chemistry. 2018. Т. 50. № 1. С. 38-41.
6. Mwundu J. Training manual on improved production and preservation techniques of hides and skins. URL: [researchgate.net/publication/324844427\\_](https://www.researchgate.net/publication/324844427)
7. Кудрявцев Л.В. Краткий курс математического анализа. – М.: Наука, 1989. 736 с.
8. Козырь О.Ф., Кривоносов В.А. Математическая модель оптимального раскроя с возможностью изменения размеров и поворота

прямоугольных заготовок // Инженерный вестник Дона, 2022, № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7890

9. Nafstad O., Gronstol H. Variation in the Level of Grain Defect Light Flecks and Sports on Cattle Hides. // Acta vet. scand. 2001, 42, Pp. 91-98.

10. Жилияков, Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.

11. Казначеева А.А., Захаркина С.В., Власенко О.М., Рыжкова Е.А. Разработка автоматизированной системы обнаружения дефектов на ткани с применением компьютерного зрения // Инженерный вестник Дона, 2021, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7339

### References

1. Kazantseva A.M., Ryzhkova E.A. Sbornik materialov Vserossijskoj nauchnoj konferencii molody`x issledovatelej s mezhdunarodny`m uchastiem. Moskva. 2022. pp. 52-55.

2. Gonsales R., Vuds R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. [Digital Image Processing]. Texnosfera, 2005. pp. 1007.

3. Anisimov B.V. Raspoznavanie i cifrovaya obrabotka izobrazhenij. [Recognition and digital image processing]. Vy`ssh. Shkola. 1983. pp. 295.

4. Gruzman I.S. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionny`x sistemax. [Digital image processing in information systems]. ucheb. posobie. Novosibirsk, 2000. pp. 166.

5. Fibre Chemistry. 2018. T. 50. № 1. pp. 38-41.

6. Mwondu J. Training manual on improved production and preservation techniques of hides and skins. URL: researchgate.net/publication/324844427\_

7. Kudriavtsev L.V. Kratkij kurs matematicheskogo analiza. [Short Course in Calculus]. Nauka, 1989. 736 s.



8. Kozyr O.F., Krivonosov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7890](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7890)
9. Nafstad O., Gronstol H. Variation in the Level of Grain Defect Light Flecks and Sports on Cattle Hides. Acta vet. scand. 2001, 42, Pp. 91-98.
10. Zhiliakov, E.G. Variacionny`e metody` analiza i postroeniya funkciy po e`mpiricheskim danny`m na osnove chastotny`x predstavlenij. [Variational methods of analysis and construction of functions from empirical data based on frequency representations]. Belgorod: Izd-vo BelGU, 2007.160 p.
11. Kaznacheeva A.A., Zakharkina S.V., Vlasenko O.M., Ryzhkova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7339](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7339)