Анализ способов идентификации при определении контуров кож по фотоснимкам

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

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина

Аннотация: В статье рассматриваются корреляционные методы идентификации изображений. Разработан алгоритм метода «редкой сетки».
Ключевые слова: идентификация изображений, алгоритм, распознавание, раскрой, эталонный кадр, корреляции элементов, поиск минимума.

При определении контуров кож при раскрое, с использованием технического зрения, возникает вопрос идентификации изображения, полученного с камеры и эталонного изображения, где четко прослеживается граница определяемого контура. Таким образом, необходимо идентифицировать два кадра: кадр К1 – изображение, полученное с камеры и кадр К2 – эталон. Для этого существует несколько методов. [1].

Один из таких методов строится на взаимной корреляции элементов двух кадров и заключается в том, что строится взаимнокорреляционная функция для кадров К1 и К2. В окрестности ее предполагаемого максимума, с помощью специального функционального преобразования, одному из кадров придается куполообразная форма [2]. Это позволяет осуществить направленный поиск максимума, который реализуется итерационным путем.

Для построения математической модели поставим в соответствие *j*-ому элементу кадра К2 функцию $f_j(\hat{x},\hat{y})$,, j=1, 2,…, М2, где М2 – множество элементов кадра К2 [3]. На основе совокупности этих функций кадр К2 может быть, в свою очередь, описан следующей функцией:

$$\hat{F}(\hat{x},\hat{y}) = \sum_{j=1}^{M^2} f_j(\hat{x},\hat{y}).$$

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

Пусть координаты $\breve{x}$, $\breve{y}$ и $\hat{x}, \hat{y}$ элементов, присутствующих в кадрах К1 и К2, соответственно, имеют следующую связь:

$$\hat{x} = x(\breve{x}, \breve{y}),$$

$$\hat{y} = y(\breve{x}, \breve{y}),$$

тогда

$\hat{F}(\hat{x}, \hat{y})$=F$[x(\breve{x}, \breve{y}), y(\breve{x}, \breve{y})]$=$\breve{F}(\breve{x}, \breve{y})$.

Функцию, имеющую независимые параметры a_1, a_2,…a_i, которые характеризуют связь между координатами $\breve{x}$, $\breve{y}$ кадра К1 и $\hat{x}, \hat{y}$ кадра К2 можно представить, как:

$$F(a_1, a_2 \cdots a_i) = \sum_{i=1}^{M1} \breve{F}(\breve{x}, \breve{y}) \quad (1)$$

Сделаем предположение, что количество элементов в кадрах К1 и К2 совпадает, т.е. *M1=M2=M′*. Обозначим $a_1^*, a_2^* \cdots a_i^*$ значения параметров, при которых координаты элементов в идентифицируемых кадрах совпадают.

Пусть допустимые значения a_1, a_2,…a_i образуют в пространстве этих параметров выпуклую замкнутую поверхность *G*, а функция $F(a_1, a_2 \cdots a_i)$ непрерывна и дифференцируема на множестве точек, образующих поверхность *G* и имеет единственный максимум в точке $(a_1^*, a_2^* \cdots a_i^*)\epsilon G$ и монотонно убывает с возрастанием расстояния между точками $(a_1, a_2 \cdots a_i)$ и $(a_1^*, a_2^* \cdots a_i^*)$. Тогда необходимым и достаточным условием полного совмещения кадров К1 и К2 будет равенство нулю всех частных производных:

$$\frac{\partial F}{\partial a_1} = F_1(a_1, a_2 \cdots a_i) = 0$$

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

$$\frac{\partial F}{\partial a_2} = F_2(a_1, a_2 \cdots a_i) = 0$$

…

$$\frac{\partial F}{\partial a_2} = F_i(a_1, a_2 \cdots a_i) = 0 \qquad (2)$$

Т.е. величины $(a_1^*, a_2^* \cdots a_i^*)$ можно найти, решив систему уравнений (2).

Вид функции $F(a_1, a_2 \cdots a_i)$ зависит от выбора $f_j(\hat{x}, \hat{y})$ при условии, когда:

$$\hat{x} = \breve{x} - x_0,$$

$$\hat{y} = \breve{y} - y_0,$$

т.е. при плоскопараллельном смещении кадров К1 и К2.

Пусть $f_j(\hat{x}, \hat{y})$ примет вид:

$$f_j(\hat{x}, \hat{y}) = \left[2h^2 - (\hat{x} - \hat{x}_j)^2 - (\hat{y} - \hat{y}_j)^2\right] * \chi(h - |\hat{x} - \hat{x}_j|) * \chi(h - |\hat{y} - \hat{y}_j|), \qquad (3)$$

где $\chi(x) = \begin{cases} 1 \text{ при } x \geq 0 \\ 0 \text{ при } x < 0 \end{cases}$;

$\hat{x}_j, \hat{y}_j$ – координаты j-ого элемента кадра К2 в системе координат $\hat{x}, \hat{y}$; h – некоторая константа большая нуля.

Примем, что любая функция $f_j(\hat{x}, \hat{y})$, где j=1,2,…M' определена на соответствующей ей области G_j принадлежащей плоскости $\hat{x}\hat{0}\hat{y}$ и не определена за пределами этой области.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

При рассмотрении величин взаимного смещения кадров $x_{см}$ и $y_{см}$ можно предположить, что G_j это окружность с центром в точке $(\hat{x},\hat{y})$ и радиусом $\sqrt{2}a_{max}$, где a_{max} – максимально возможное смещение величин $|x_c|$ и $|y_c|$.

В этом случае выражение (1) может быть записано в виде:

$$F(x_c,y_c)=\sum_{i=1}^{M1}\sum_{J=1}^{M2}\left[2h^2-\left(\omega_{ij}^{(x)}-x_c\right)^2-\left(\omega_{ij}^{(y)}-y_c\right)^2*\right.$$
$$\left.\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(x)}-x_c\right|\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(y)}-y_c\right|\right)\right] \tag{4}$$

где $\omega_{ij}^{(x)}=\breve{x}_i-\hat{x}_j$, $\omega_{ij}^{(y)}=\breve{y}_i-\hat{y}_j$ – абсцисса и ордината элемента плоскости корреляции, соответствующей i-ому элементу кадра К1 и j-ому элементу кадра К2; $\hat{x}_i$ и $\breve{y}_i$ – координаты i-ого элемента кадра К1 в системе координат $\breve{x}\breve{y}$, где i=1,2,…,M1; $x_c=\breve{x}-\hat{x}$, $y_c=\breve{y}-\hat{y}$.

Полученное выражение позволяет представить (2) в виде:

$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{M1}\sum_{J=1}^{M2}\left(\omega_{ij}^{(x)}-x_c\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(x)}-x_c\right|\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(y)}-y_c\right|\right)=0\\ \sum_{i=1}^{M1}\sum_{J=1}^{M2}\left(\omega_{ij}^{(y)}-y_c\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(x)}-x_c\right|\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(y)}-y_c\right|\right)=0\end{cases} \tag{5}$$

Решая систему (5) итерационным методом, получаем:

$$x_c[t]=x_c[t-1]+\frac{\omega}{M_0}\sum_{i=1}^{M1}\sum_{J=1}^{M2}\left(\omega_{ij}^{(y)}-x_c[t-1]\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(x)}-\right.\right.$$
$$\left.\left.x_c[t-1]\right|\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(y)}-y_c[t-1]\right|\right)$$
$$; \tag{6}$$
$$y_c[t]=y_c[t-1]+\frac{\omega}{M_0}\sum_{i=1}^{M1}\sum_{J=1}^{M2}\left(\omega_{ij}^{(y)}-y_c[t-1]\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(x)}-\right.\right.$$
$$\left.\left.x_c[t-1]\right|\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(y)}-y_c[t-1]\right|\right)$$
$$,$$

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

где t = 1,2,… – номер итерации, ω – положительная константа; M_0 – число элементов, попадающих в область размером 2h x 2h на плоскости корреляции на шаге $t-1$.

Число элементов, попадающих в заданную область, можно рассчитать по формуле:

$$M_0 = \sum_{i=1}^{M1}\sum_{j=1}^{M2}\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(x)}-x_c[t-1]\right|\right)*\chi\left(h-\left|\omega_{ij}^{(y)}-y_c[t-1]\right|\right).$$

При наличии на кадрах К1 и К2 шума, координаты полученного центра тяжести могут отличаться от истинных координат сдвига между кадрами. Следовательно, необходимо оценить точность предлагаемого алгоритма.

Для этого разделим выражение (6) на шумовую составляющую, тогда выражение для x_c примет вид:

$$x_c[t] = \frac{\omega}{M_{\sum 2}}\left[M^{(1)}(x_c - x_c[t-1]) + \sum_{(i,j)\epsilon\Pi_{2a}} U_{ij}\right] + x_c[t-1], \qquad (7)$$

где $M_{\sum 2}$ – общее число элементов в области плоскости корреляции на t-м шаге, $M^{(1)}$ – число сигнальных элементов в этой области; Π_{2a} – множество пар неодноименных элементов кадров, разности координат которых U_{ij} определяют шумовые элементы на t-м шаге.

Полагая, что элементы, попадающие в область корреляционной плоскости, независимые случайные величины [4], выражение (7) можно переписать, как:

$$x_c[t] = \frac{\omega}{M^{[1]}+M^{(2)}}\left[M^{(1)}(x_c - x_c[t-1]) + \sum_{\xi}^{M_a^{(2)}} x_{c\xi}\right] + x_c[t-1], \qquad (8)$$

где $M_a^{(2)}$ – число; $x_{c\xi}$ - координата ξ -ого элемента, обозначающего шум на плоскости корреляции.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

Если считать, что кадры К1 и К2 являются фрагментами однородного пуассоновского точечного поля, то при $\omega = 1$ погрешность в сдвиге между кадрами на t-м шаге будет:

$$\Delta x_c[t] = x_c[t] - x_c = \frac{\sum_{\xi=1}^{M_a^{(2)}} (x_{c\xi} + \Delta x_c[t-1])}{M^{(1)} + M_a^{(2)}},$$

$$t=1, 2, \dots, \tag{9}$$

Сделаем предположение, что $\Delta x_c[t-1]$ слабо зависит от общего числа элементов в плоскости корреляции, тогда математическое ожидание погрешности сдвига кадров на t-м шаге будет:

$$M\{\Delta x_c[t]\} = x_c\left(\frac{\lambda_{M_a^{(2)}}}{\lambda_{\Sigma 2}}\right)^t, \tag{10}$$

где $\lambda_{M_a^{(2)}}$ – среднее число помех, созданных элементами, обозначающими шум на плоскости корреляции; $\lambda_{\Sigma 2}$ – среднее число помех в области плоскости корреляции [2].

Т.к. $\frac{\lambda_{M_a^{(2)}}}{\lambda_{\Sigma 2}} < 1$, следовательно

$M\{\Delta x_c[t]\} \to 0$ при $t \to \infty$.

Скорость сходимости зависит от соотношения между $\lambda_{M_a^{(2)}}$ и $\lambda_{M^{(1)}}$.

Выбор величины $b = \frac{\omega}{M_0}$ обеспечит нужную скорость сходимости.

Еще один корреляционный метод идентификации изображений основан на совмещении кадров с использованием плоскопараллельного смещения одного из кадров относительно другого, которое характеризуется параметрами x_c, y_c. То взаимное расположение кадров, которое дает большее

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

количество пар совпадающих элементов, считается истинным [5]. Но при больших взаимных сдвигах кадров К1 и К2 возникает необходимость увеличения корреляционной области 2h x 2h, что может привести к возрастанию количества помех [6], поэтому предлагается предварительное совмещение кадров, базирующихся на использовании их корреляционной свертки [6]

$$k(x_c, y_c) = \sum_{i=0}^{M1} \sum_{j=1}^{M2} \delta(\omega_{ij}^{(x)} - x_c, \omega_{ij}^{(y)} - y_c), \qquad (11)$$

где $\delta\left(\omega_{ij}^{(x)} - x_c, \omega_{ij}^{(y)} - y_c\right) = \{\begin{cases} 1, \text{если } \omega_{ij}^{(x)} - x_c = \omega_{ij}^{(y)} - y_c = 0 \\ 0 \text{ в остальных случаях} \end{cases}$ (12)

Максимальное значение $k(x_c, y_c)$ можно получить, используя метод «редкой сетки», алгоритм которого представлен на рисунке 1.

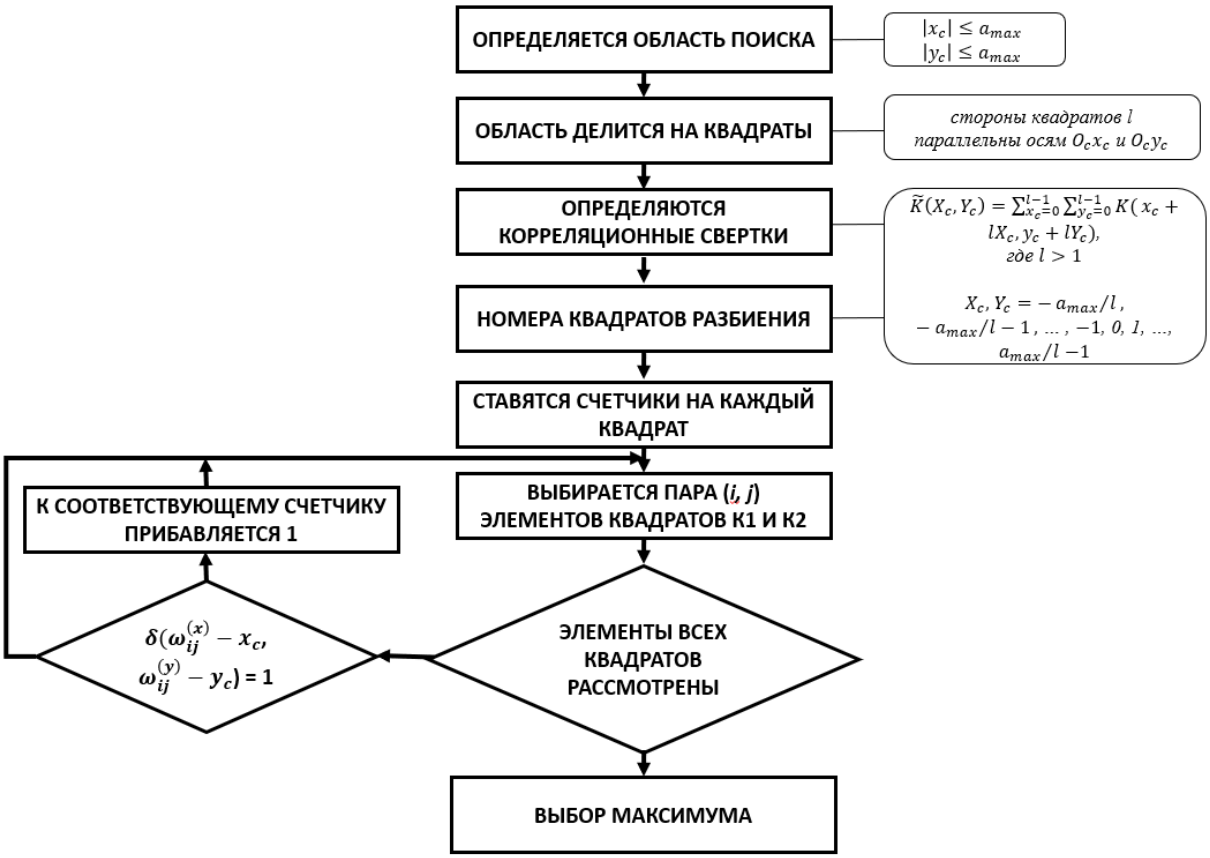

Рис. 1. – Этапы распознавания контуров

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

Кроме корреляционных методов идентификации изображений используются зонно-комбинаторные, которые базируются на постоянстве геометрии точечных изображений. Для опознавания идентичных элементов в эталоне и распознаваемом кадре используются такие характеристики, как расстояние, периметр объекта, углы и т.п., но для определения контуров кож использование этих характеристик затруднительно, поскольку их контуры не могут быть описаны четкими геометрическими объектами.

В статье Казанцевой А.М., Рыжковой Е.А., Масанова Д.В. «К вопросу о распознавании контуров» рассматривался еще один метод идентификации изображений [7], основанный на поиске минимума функционала:

$$\Phi(i,j) = \sum L(R_i, R_j),$$

где R_i и R_j – радиус-векторы i и j кадров К1 и К2; L (R_i, R_j) – квадрат расстояния между объединяемыми в пару элементами на кадрах К1 и К2.

Рассмотрев все эти методы, можно сделать вывод, что при небольшом уровне помех наиболее эффективен метод, основанный на поиске минимального функционала $\Phi(i,j)$ [8], определяющегося квадратом разности между одноименными элементами на кадре с распознаваемой поверхностью и эталонном кадре [9, 10].

В случае большого количества помех, максимальную эффективность обеспечивают корреляционные методы идентификации, однако, при использовании алгоритмов, основанных на этих методах, когда реализуется совмещение идентифицируемых кадров, и одноименные элементы оказываются в непосредственной близости друг от друга, а затем осуществляется идентификация этих элементов, то максимальная точность будет достигнута при использовании алгоритма минимизации функционала $\Phi(i,j)$.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М: Техносфера, 2005. 1007 с.

2. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений – М.: Высш. школа, 1983. – 295 с.

3. Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. Оптимальная фильтрация изображений на основе частотных представлений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2008. – Вып.1. – С. 118-132.

4. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие. – Новосибирск, 2000. – 166 с.

5. Кудрявцев Л.В. Краткий курс математического анализа – М.: Наука, 1989. 736 с.

6. 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. T. 50. № 1. C. 38-41.

7. Казанцева А.М., Рыжкова Е.А., Масанов Д.В. К вопросу о распознавании контуров // Инженерный вестник Дона, 2023, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8254

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

9. 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

10. 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.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023

References

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

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

3. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. Optimal'naya fil'tratsiya izobrazheniy na osnove chastotnykh predstavleniy. [Optimal image filtering based on frequency representations]. E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomorets. Voprosy radioelektroniki. Ser. EVT. 2008. Vyp.1. pp. 118-132.

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

5. Kudriavtsev L.V. Kratkij kurs matematicheskogo analiza. [A short course in mathematical analysis]. Nauka, 1989. pp.736.

6. Murashko F.V., Ryzhkova E.A., Vlasenko O.M. Fibre Chemistry. 2018. T. 50. №1. pp. 38-41.

7. Kazantseva A.M., Ryzhkova E.A., Masanov D.V. Inzhenernyy vestnik Dona, 2023, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8254

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

9. 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

10. 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.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2023