

Нейронечеткая модель построения контуров на изображении

Л.Ю. Емалетдинова, А.С. Катасёв, М.А. Назаров

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.
Туполева - КАИ*

Аннотация: В статье описывается методика построения нейронечеткой модели выделения контурных точек на изображении. Методика включает следующие шаги: формирование лингвистических переменных «разность яркостей пикселей» и «признак принадлежности пикселя к контуру», формирование базы знаний нейронечеткой модели при помощи бинарного изображения, формирование обучающей выборки с использованием как полутонового, так и контурного изображения, обучение нейронечеткой модели с использованием генетического алгоритма. Особенностью представленного генетического алгоритма является - проверка условий на корректность значений параметров функций принадлежности, получаемых при генерации хромосом. Описывается структура нейронечеткой модели принятия решения о принадлежности пикселя контуру. Приводится результат применения нейронечеткой модели для построения контуров изображений.

Ключевые слова: нейронечеткая модель, контурное изображение, выделение контура, контурный пиксель, лингвистическая переменная, нечеткое множество, функция принадлежности, генетический алгоритм, логический вывод Цукамото, Обучение нейронечеткой модели.

Введение

В настоящее время машинное зрение используется в различных областях, таких, как: видеонаблюдение [1 - 3], безопасность [4, 5], автомобильная отрасль, здравоохранение [6], сельское хозяйство, розничная торговля и др. [7].

Одним из актуальных направлений использования машинного зрения является обнаружение контуров объектов. Существует большое количество подходов к обнаружению контуров, среди которых: оператор Собеля, Превитта, Кэнни и др. [8, 9].

Предлагаемая нейронечеткая модель принятия решения о контурности пикселя изображения строится на основе базы правил и логического вывода Цукамото [10].

Методика построения нейронечеткой модели состоит из следующих шагов:

1. Преобразование исходного полноцветного изображения I в полутоновое при помощи следующего преобразования:
 $L_j = (0.2989 * r_j + 0.5870 * g_j + 0.1140 * b_j) / 256$, где r_j, g_j, b_j - красная, зеленая и синяя составляющая j -го пикселя, L_j – нормализованное значение яркости.

2. Вычисление разности яркостей между центральным пикселем с яркостью L и окружающими его соседними: $s_i = L - L_i$, где $i = \overline{1,8}$, L_i – яркость окружающих пикселей. Значения s_i лежат в диапазоне $[-1; 1]$.

3. Введение лингвистической переменной «Разность яркостей пикселей», имеющей следующие нечеткие множества значений с трапецевидной функцией принадлежности:

- A - «Яркость пикселя из окрестности значительно меньше яркости L центрального пикселя»: $A = \{(s, \mu_A(s)); s \in [-1, 1]\}$,

$$\mu_A(s) = \begin{cases} 0, & \text{для } s \leq g \\ \frac{s-g}{h-g}, & \text{для } g < s \leq h; \\ 1, & \text{для } s > h \end{cases}$$

- B - «Яркость пикселя из окрестности близка к яркости L центрального пикселя»: $B = \{(s, \mu_B(s)); s \in [-1, 1]\}$,

$$\mu_B(s) = \begin{cases} 0, & \text{для } s \leq c \\ \frac{s-c}{d-c}, & \text{для } c < s \leq d \\ 1, & \text{для } d < s < e \\ \frac{f-s}{e-f}, & \text{для } e \leq s \leq f \\ 0, & \text{для } s > f \end{cases};$$

- C - «Яркость пикселя из окрестности значительно больше яркости L центрального пикселя»: $C = \{(s, \mu_C(s)); s \in [-1, 1]\}$,

$$\mu_C(s) = \begin{cases} 1, & \text{для } s \leq a \\ \frac{b-s}{b-a}, & \text{для } a < s \leq b. \\ 0, & \text{для } s > h \end{cases}$$

4. Введение лингвистической переменной «Признак принадлежности пикселя к контуру», имеющей следующие нечеткие множества значений с усеченной гауссовой функцией принадлежности:

- E – «Рассматриваемый центральный пиксель принадлежит контуру»: $E = \{(z, \mu_E(z)); z \in [0, 1]\}$,
- F – «Рассматриваемый центральный пиксель не принадлежит контуру»: $F = \{(z, \mu_F(z)); z \in [0, 1]\}$.

5. Построение множества нечетких продукционных правил принятия решения о принадлежности рассматриваемого пикселя к контуру вида:

*Если $s_1 = G_1 \& s_2 = G_2 \& s_3 = G_3 \& s_4 = G_4 \& s_5 = G_5 \& s_6 = G_6 \& s_7 = G_7 \& s_8 = G_8$ тогда $z = D$,
где $G_i \in \{A, B, C\}, i = \overline{1, 8}, D \in \{E, F\}$*

5.1. Выделение на полутоновом изображении контуров объектов и формирование бинарного изображения одним из известных методов.

5.2. Последовательное рассмотрение фреймов из пикселей размером 3×3 (двигаясь по изображению слева направо и сверху вниз) и формирование множества $S_q = \{(s_1^j, s_2^j, s_3^j, s_4^j, s_5^j, s_6^j, s_7^j, s_8^j, r^j), j = \overline{1, M}\}$, где j – номер рассматриваемого пикселя, $s_i^j \in \{-1, 0, 1\}, i = \overline{1, 8}$ – разности яркостей на бинарном изображении между пикселем и соседними с ним, r^j – признак контурности; M – количество фреймов.

5.3. Удаление повторяющихся векторов значений из S_q .

5.4. Для каждого вектора $(s_1^j, s_2^j, s_3^j, s_4^j, s_5^j, s_6^j, s_7^j, s_8^j, r^j)$ формируется нечеткое правило, в котором $G_i = \begin{cases} A, \text{ если } s_i = -1 \\ B, \text{ если } s_i = 0 \\ C, \text{ если } s_i = 1 \end{cases}$ и

$$r^j = \begin{cases} E, \text{ если пиксель контурный} \\ F, \text{ если пиксель не контурный} \end{cases}.$$

6. Формирование и обучение нейронечеткой модели, в результате которого уточняются параметры функций принадлежности

6.1. Последовательное рассмотрение фреймов из пикселей полутонового изображения размером 3×3 (двигаясь по изображению слева направо и сверху вниз) и формирование обучающей выборки $S_q = \{(s_1^j, s_2^j, s_3^j, s_4^j, s_5^j, s_6^j, s_7^j, s_8^j, r^j), j = \overline{1, M}\}$, где j - номер рассматриваемого пикселя, $s_i^j, i = \overline{1, 8}$ - разности яркостей между пикселем и соседними с ним, r^j - признак контурности пикселя соответствующего бинарного изображения, M - количество фреймов.

7. Обучение нейронечеткой модели на основе генетического алгоритма и оптимизация параметров функций принадлежности $\mu_A(s)$, $\mu_B(s)$, $\mu_C(s)$.

7.1. Кодирование значения a, b, c, d, e, f, g, h бинарной строкой (хромосомой) длиной $\Omega = 8 * 18 = 144$.

7.2. Формирование хромосом $\vartheta_i, i = \overline{1, 30}$ популяции:

7.2.1. Создание хромосомы на основе генерации случайных чисел 0 или 1.

7.2.2. Получение десятичных значений параметров путем преобразования генотипа в фенотип.

7.2.3. Проверка выполнения условия: Если $(a < b)$ и $(b > c)$ и $(c < d)$ и $(e < f)$ и $(f > g)$ и $(g < h)$ и $(d < 0)$ и $(e > 0)$, то соответствующая

хромосома используется в популяции. В противном случае выполняется п.2.1.

7.3. Вычисление значения фитнес функции.

7.3.1. Преобразование генотипа каждой хромосомы популяции в фенотип.

7.3.2. Определение значения выходной переменной для каждого примера обучающей выборки, используя модель нечеткого логического вывода,

7.4. Вычисление фитнес функции популяции: $P(\mathcal{G}_i) = -\sum_{j=1}^M (z_{i0}^j - \tilde{z}_{i0}^j)^2$,

где z_{i0}^j , \tilde{z}_{i0}^j – заданные и вычисленные моделью значения выходной переменной.

7.5. Формирование новой популяции на основе отбора, скрещивания и мутации хромосом с проверкой условия п.2.3.

7.6. Итерационное выполнение пунктов 3,4 до достижения сформированной популяции заданного качества.

Предлагаемая нейронечеткая модель имеет вид представленный на рис. 1, и состоит из шести слоев:

- Первый слой нейросети определяет значения предпосылок $\mu_A(s_i)$, $\mu_B(s_i)$, $\mu_C(s_i)$ для каждого входного значения s_i .

Это параметрический слой с параметрами a , b , c , d , e , f , g , h подлежащими адаптации в процессе обучения.

- На втором слое находятся уровни $\alpha_k = \min(\mu_{G_1^k}(s_1^k), \mu_{G_2^k}(s_2^k), \dots, \mu_{G_8^k}(s_8^k)), k = \overline{1, N}$

- Третий слой определяет четкое значение выходной переменной z^k для каждого k -го правила по формуле $z_k = \mu_R^{-1}(\alpha^k), R \in \{E, F\}$.

• Четвертый, пятый и шестой слои реализуют логический вывод Цукамото, т.е. вычисление четкого значения переменной вывода Z_0 как

взвешенное среднее по формуле
$$z_0 = \frac{\sum_{k=1}^{3^8} \alpha_k z^k + \sum_{k=1}^{3^8} \alpha_{(k+3^8)} z^{(k+3^8)}}{\sum_{k=1}^{3^8 \cdot 2} \alpha_k}.$$

Количество нейронов во втором и третьем слое равно количеству правил в базе.

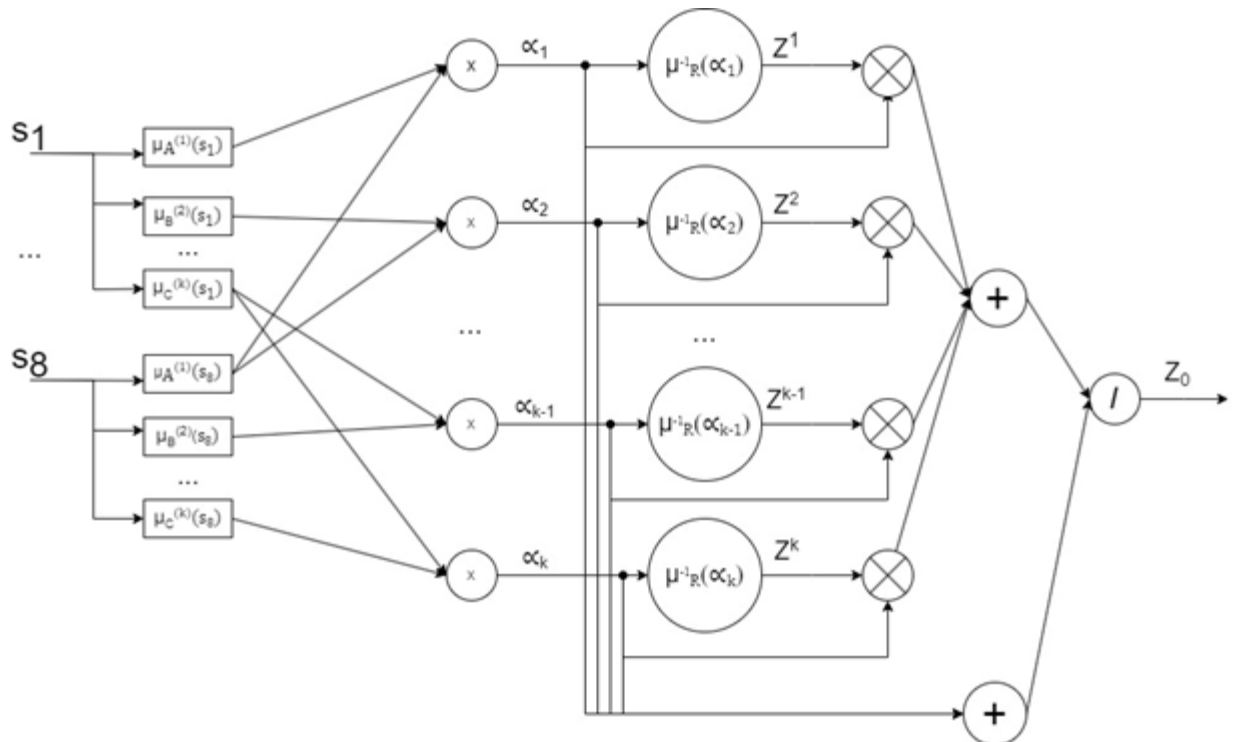


Рис. 1. – Нейронечеткая модель принятия решения о контурности рассматриваемого пикселя

Для разработки нейронечеткой модели использовалось полутоновое изображение человека, лежащего на снегу (рис. 2а), бинарное изображение человека для формирования состава правил (рис.2б). На рис. 2в представлен контур, выделенный нейронечеткой моделью.

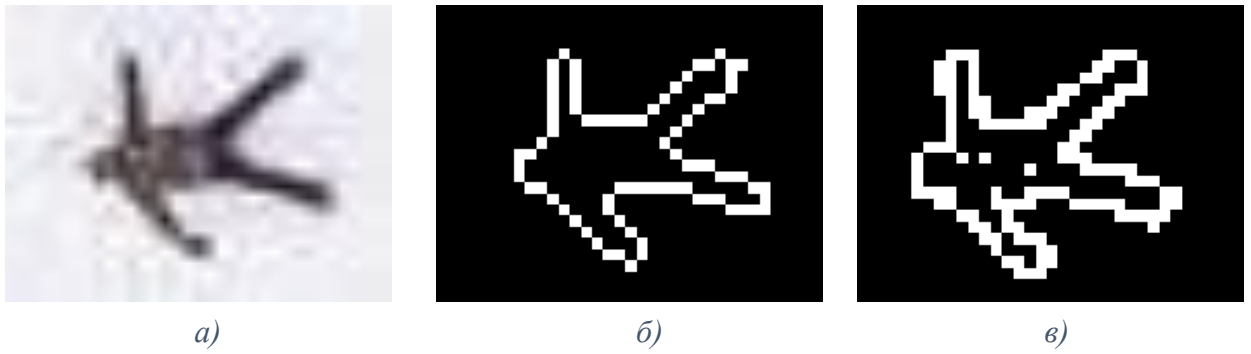


Рис. 2. – Исходный объект, контур, используемый для обучения и контур, выделенный нейронечеткой сетью

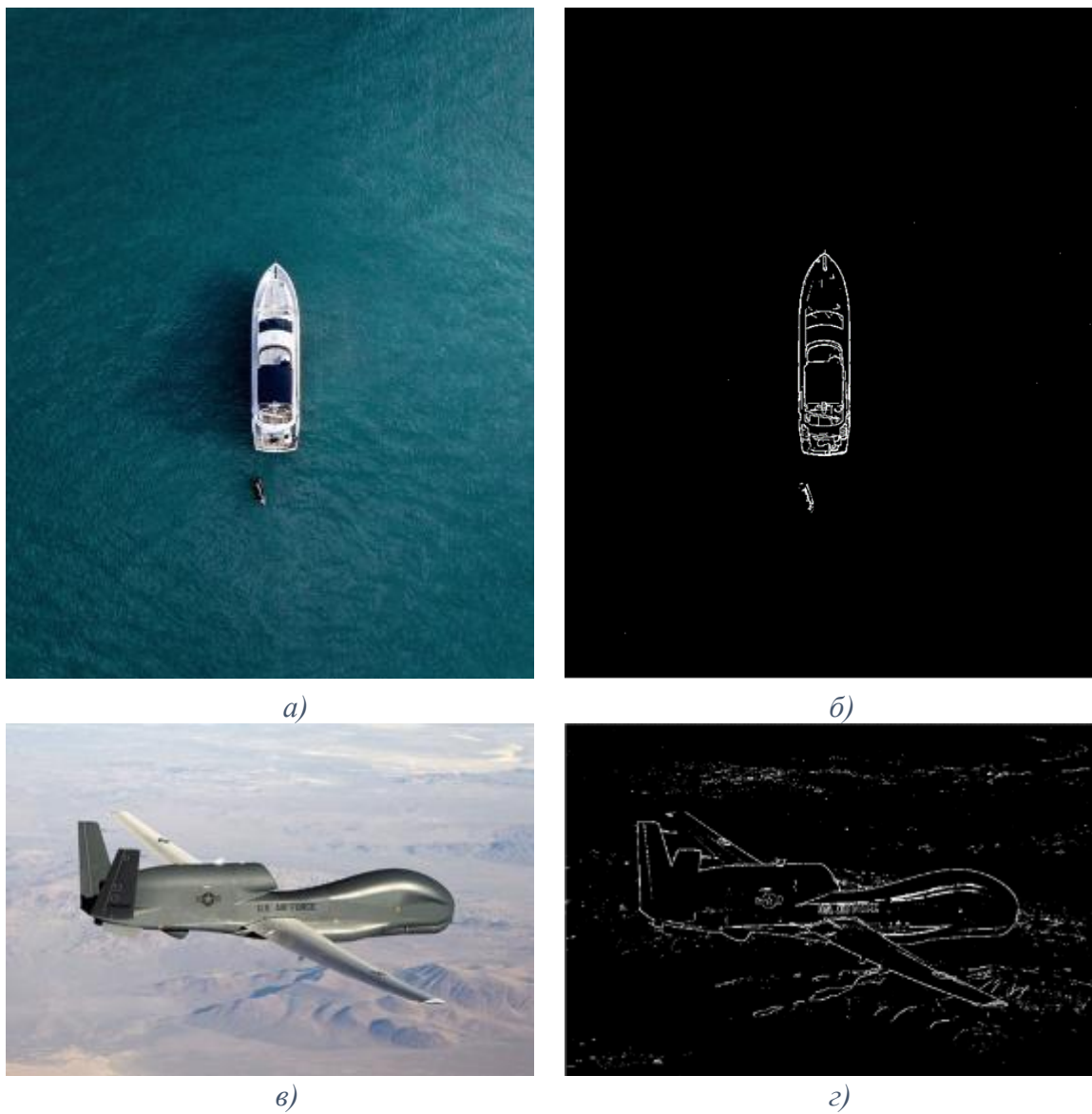


Рис. 3. – Результаты применения нейронечеткой модели выделения контурных точек

Разработанная нейронечеткая модель была применена к изображениям За, Зв. На рис. 3б, 3г приведены результаты работы нейронечеткой модели выделения контурных точек.

Литература

1. Хрящев Д.А. Повышение качества изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1796

2. Франц В.А., Воронин В.В., Марчук В.И., Фисунов А.В., Письменскова М.М. Алгоритм построения траектории движения объектов в видеопотоке на основе оптического потока // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1856

3. Леонов С.Н., Головков В.В., Яковлев И.И. Распознавание неупорядоченных деталей на видеоряде с помощью интеллектуальных систем технического зрения // Евразийский Союз Ученых. 2016. №5-2. URL: cyberleninka.ru/article/n/raspoznvanie-neuporyadochennyh-detaley-na-videoryade-s-pomoschyu-intellektualnyh-sistem-tehnicheskogo-zreniya

4. Katasyov A.S., Katasyova D.V., Kirpichnikov A.P. Neuronet biometric imaging system of human face recognition // Vestnik of Kazan Technological University. 2016. №18. С. 135-138.

5. Shah N., Bhagat N., Shah M. Crime forecasting: a machine learning and computer vision approach to crime prediction and prevention // Visual Computing Industry, Biomedicine, and Art. 2021. №4. URL: vciba.springeropen.com/articles/10.1186/s42492-021-00075-z

6. Huang G., Tran S.N., Bai Q. Real-time automated detection of older adults hand gestures in home and clinical settings // Neural Comput & Applic. 2023. №35. pp. 8143–8156.

7. Shaout A., Murray D., Motwakel A. Fuzzy logic image processing // International Journal of Knowledge Engineering and Data Mining. 2019. №6. pp. 207-233.

8. Маврин Е. М. Сравнение алгоритмов выделения контуров на цифровом изображении и выбор наилучшего алгоритма для реализации на ПЛИС // Вопросы науки и образования. 2019. №14 (61). URL: cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-algoritmov-vydeleniya-konturov-na-tsifrovom-izobrazhenii-i-vybor-nailuchshego-algoritma-dlya-realizatsii-na-plis

9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 3 изд. Москва: Техносфера, 2012. С. 1105.

10. Emaletdinova L.Y., Nazarov M.A. Construction of a Fuzzy Model for Contour Selection // Studies in Systems, Decision and Control. 2022. №417. pp. 245-253.

References

1. Khryashchev D.A. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1796

2. Frants V.A., Voronin V.V., Marchuk V.I., Fisunov A.V. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1856

3. Leonov S.N., Golovkov V.V., Yakovlev I.I. Evraziyskiy Soyuz Uchenykh. 2016. №5-2 (26) URL: cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-neuporyadochennyh-detaley-na-videoryade-s-pomoschyu-intellektualnyh-sistem-tehnicheskogo-zreniya

4. Katasyov A.S., Katasyova D.V., Kirpichnikov A.P. Vestnik of Kazan Technological University. 2016. №18. pp. 135-138.

5. Shah N., Bhagat N., Shah M. Visual Computing Industry, Biomedicine, and Art. 2021. №4. URL: vciba.springeropen.com/articles/10.1186/s42492-021-00075-z



6. Huang G., Tran S.N., Bai Q. Neural Comput & Applic. 2023. №35. pp. 8143–8156.
7. Shaout A., Murray D., Motwakel A. International Journal of Knowledge Engineering and Data Mining. 2019. №6. pp. 207-233.
8. Mavrin E. M. Voprosy nauki i obrazovaniya. 2019. №14 (61) URL: cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-algoritmov-vydeleniya-konturov-na-tsifrovom-izobrazhenii-i-vybor-nailuchshego-algoritma-dlya-realizatsii-na-plis
9. Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. [Digital Image Processing]. 3 izd. Moskva: Tekhnosfera, 2012. P. 1105.
10. Emaletdinova L.Y., Nazarov M.A. Studies in Systems, Decision and Control. 2022. №417. pp. 245-253.