

ВЫДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ВТОРОГО ТИПА

УДК 004.932

ПЕТРЕНКО Татьяна Григорьевна

к.т.н., доцент кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета.

Научные интересы: нечеткие логические системы первого и второго типа, системы управления, когнитивные модели.

e-mail: quay_149@yahoo.com

САЛЬКОВ Игорь Григорьевич

аспирант кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета.

Научные интересы: компьютерное зрение.

e-mail: salkov@signuma.com

ТИМЧУК Олег Сергеевич

аспирант кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета.

Научные интересы: нечеткие логические системы первого и второго типа, адаптивные системы.

e-mail: o.s.timchuk@gmail.com

АДАМЕЦ Андрей Александрович

студент четвертого курса кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета.

Научные интересы: компьютерное зрение.

e-mail: andrey.adamets@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Согласно данным IEEE Digital Library за период 1937-2013 гг., публикаций в библиотеке, которые содержат ключевые слова «edge detection» (выделение границ) насчитывается больше 23 тысяч. Задача выделения границ часто формулируется как задача кластеризации точек растрового изображения (обычно уже в оттенках серого) на две группы точек - два кластера. Первая группа точек обладает свойством отсутствия перепадов яркости (в определенном диапазоне яркости). Вторая группа - это точки на границе изменения яркости пикселей изображения. Чем выше перепад яркости соседних точек на изображении, тем выше уверенность в наличии некоторой границы в данном месте изображения. Опубликованные результаты ис-

следований позволяют сделать некоторые выводы о применимости существующих методов выделения границ:

1. Результат выделения границ существенно зависит от свойств объектов, границы которых выделяются, поэтому применение каждого метода выделения границ ограничено некоторыми прикладными задачами.

2. Невозможность однозначного отнесения зон с перепадами яркости, в общем случае, к области границы или к области помех, вносит в задачу выделения границ существенную неопределенность [1].

3. Перспективным является развитие подходов нечеткой логики, особенно дискретных интервальных нечетких логических систем второго типа (DIT2FLSs) для интерпретации существующих методов выделения границ в терминах конкретных предметных областей [2, 3].

DIT2FLSs позволяют снизить риск ошибок первого и второго рода, определяя уверенность, аргументированную знаниями эксперта, в зоне возможного наличия границы изображения.

Цель статьи: разработать систему выделения границ на изображении с использованием DIT2FLS. На примере наиболее апробированных методов выделения границ (оператора Собеля и метода градиента) показать эффективность подхода нечеткой логики второго типа как актуального инструмента решения задач с неопределенностью исходных данных.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На основе пакета библиотек и среды поддержки DIT2FLS [4, 5] в работе построены два метода выделения границ. Первый метод – модифицированный метод Собеля [2]. К исходному растровому изображению (представленному в оттенках серого) в данной работе применяются параллельно четыре фильтра-свертки. Результатом каждой операции (фильтра) является новое растровое изображение (в оттенках серого). Знания эксперта об отнесении пикселя каждого из четырех изображений к категориям «низкое», «среднее» и «высокое» значения яркости представляются как нечеткие переменные второго типа. Два фильтра реализуют классический оператор Собеля, позволяя изменить яркость исходного изображения по вертикали и горизонтали (на основании операции свертки). Еще два фильтра учитывают высокочастотную и низкочастотную составляющие изменения яркости. К полученным данным применяются нечеткие правила для окончательного вывода об отнесении пикселя к границе изображения.

Второй из построенных в работе методов - модифицированный градиентный метод. По этому методу к исходному растровому изображению (в оттенках серого) применяются параллельно три фильтра. Два фильтра меняют яркость каждого пикселя изображения на абсолютное значение разности яркости пикселей исходного изображения по вертикали и по горизонтали. Третий фильтр – фильтр Гаусса, выполняет учет низкочастотной составляющей изменения яркости. Представление данного метода с помощью DIT2FLS выполняется аналогично модифицированному методу Собеля.

Представим общую модель выделения границ на изображении на основе DIT2FLS.

Пусть исходное изображение задано в виде матрицы значений яркости пикселей

$$S = \{s_{i,j} \mid i \in \{1, \dots, W\}, j \in \{1, \dots, H\}\}, \quad (1)$$

где W – ширина изображения,

H – высота изображения.

Формирование результирующего изображения

$$D = \{d_{i,j} \mid i \in \{1, \dots, W\}, j \in \{1, \dots, H\}\}, \quad (2)$$

осуществляется с помощью DIT2FLS

$$\begin{aligned} d_{i,j} &= F(IN, LI, LO, R), \\ IN &= \langle g_{i,j}^n \rangle, n = \overline{1, N}, g_{i,j}^n \in G_n, \\ LI &= \langle A_n \rangle, \\ R &= \langle r_k \rangle, k = \overline{1, K}, \end{aligned} \quad (3)$$

где IN – набор четких входных значений яркости i, j пикселя изображений, каждое из которых получено в результате обработки n -ым фильтром,

N – количество фильтров, применяемых к S ,

LI – набор входных лингвистических переменных, которые определяют условия отнесения пикселя к границе,

LO – результирующая лингвистическая переменная, описывающая степень уверенности в принадлежности пикселя с яркостью $s_{i,j}$ границе,

R – набор нечетких правил для выделения границ на изображении,

K – количество нечетких правил,

F – операция нечеткого логического вывода (алгоритм Мамдани).

Исходное изображение S (1) и изображения G_n , полученные в результате применения фильтров, имеют различный диапазон изменения яркости. Для обеспечения применимости предлагаемых в данной статье моделей выделения границ к произвольным изображениям (по диапазону яркости), на каждом этапе обработки данных выполняется линейное нормирование [6] значений яркости пикселей изображения на интервал $[0; X_{\max}]$

$$\tilde{g}_{i,j}^n = \frac{g_{i,j}^n - \min(g_{i,j}^n)}{\max(g_{i,j}^n) - \min(g_{i,j}^n)} \cdot \Psi_{\max},$$

где $\tilde{g}_{i,j}^n$ – новое (нормированное) значение яркости пикселя,

$g_{i,j}^n, \min(g_{i,j}^n), \max(g_{i,j}^n)$ – текущее, минимальное и максимальное значения яркости пикселя,
 Ψ_{\max} – максимальное значение интервала нормирования.

1. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД СОБЕЛЯ (MS) НА ОСНОВЕ DIT2FLS

Опишем интерпретацию метода Собеля в соответствии с представленной обшей моделью.

Согласно (2), (3)

$$D = \{d_{i,j}\},$$

$$d_{i,j} = F(IN, LI, LO, R).$$

Опишем переменные и параметры MS (набор входных значений IN, входные лингвистические переменные LI, результирующую переменную LO, базу нечетких правил R).

$$IN = \langle g_{i,j}^1, g_{i,j}^2, g_{i,j}^3, g_{i,j}^4 \rangle,$$

$$g_{i,j}^1 \in G_x, g_{i,j}^2 \in G_y, g_{i,j}^3 \in G_{hp}, g_{i,j}^4 \in G_{lp}$$

где G_x – матрица, в которой каждый элемент содержит значение яркости, как результат вычисления градиента яркости по оси X,

G_y – матрица, в которой каждый элемент содержит значение яркости, как результат вычисления градиента яркости по оси Y,

G_{hp} – матрица, в которой каждый элемент содержит значение яркости, полученное в результате применения высокочастотного фильтра,

G_{lp} – матрица, в которой каждый элемент содержит значение яркости, полученное в результате применения низкочастотного фильтра.

$$G_x = S \oplus \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$G_y = S \oplus \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$G_{hp} = S \oplus \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 16 & 8 & 16 \\ -1 & 3 & -1 \\ 8 & 4 & -8 \\ 1 & -1 & 1 \\ 16 & -8 & 16 \end{bmatrix},$$

$$G_{lp} = S \oplus \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

где \oplus – операция свертки.

Набор LI содержит 4 лингвистических переменных

$$LI = \langle A_1, A_2, A_3, A_4 \rangle,$$

где A_1 – лингвистическая переменная, описывающая результат изменения яркости изображения по оси X; содержит 3 терма: низкое (low), среднее (medium) и высокое (high) изменение яркости; определена на универсальном множестве $X_1 = [0,255]$ (рис. 1),

A_2 – лингвистическая переменная, описывающая результат изменения яркости изображения по оси Y; содержит 3 терма: низкое (low), среднее (medium) и высокое (high) изменение яркости (определяются аналогично термам A_1 , рис.1),

A_3 – лингвистическая переменная, описывающая высокочастотную составляющую изменения яркости изображения, величина отклика возрастает с увеличением частоты изменения яркости; содержит 3 терма: низкое (low), среднее (medium) и высокое (high) значение (определяются аналогично термам A_1 , рис.1),

A_4 – лингвистическая переменная, описывающая низкочастотную составляющую изменения яркости изображения; содержит 3 терма: низкое (low), среднее (medium) и высокое (high) значение (определяются аналогично термам A_1 , рис.1).

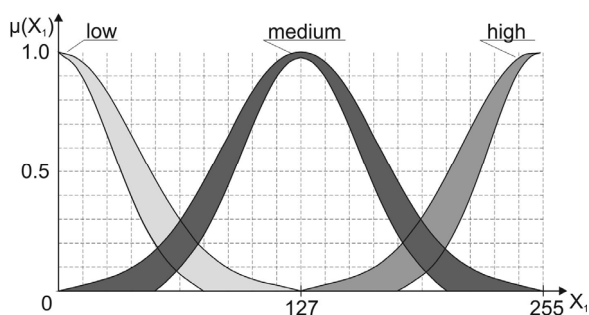


Рисунок 1 – Лингвистическая переменная A_1 системы MS

Результирующая лингвистическая переменная LO описывает уверенность в наличии границы на исходном изображении. Переменная содержит три термина: низкая (low), средняя (medium), высокая (high) уверенности (определяются аналогично термам A_1).

Набор правил R содержит 81 нечеткое правило типа ЕСЛИ-ТО. Для каждого правила экспертом установлена степень доверия к правилу.

Пример нечеткого правила из набора R

r_k : IF $g_{i,j}^1 \in$ "высокое значение" AND
 $g_{i,j}^2 \in$ "низкое значение" AND
 $g_{i,j}^3 \in$ "высокое значение" AND
 $g_{i,j}^4 \in$ "высокое значение"
 THEN "высокая уверенность в существовании границы"
 (доверие к правилу равно 0.5).

2. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД (MG) НА ОСНОВЕ DIT2FLS

Опишем интерпретацию градиентного метода в соответствии с представленной обшей моделью.

Согласно (2), (3)

$$D = \{d_{i,j}\},$$

$$d_{i,j} = F(IN, LI, LO, R).$$

Опишем переменные и параметры MS (набор входных значений IN, входные лингвистические переменные LI, результирующую переменную LO, базу нечетких правил R).

$$IN = \langle g_{i,j}^1, g_{i,j}^2, g_{i,j}^3 \rangle,$$

$$g_{i,j}^1 = |S_{i,j} - S_{i-1,j}|,$$

$$g_{i,j}^2 = |S_{i,j} - S_{i,j-1}|,$$

$$g_{i,j}^3 \in G_\sigma,$$

где G_σ – изображение, полученное в результате применения фильтра Гаусса.

$$G_\sigma = \nabla S \oplus \begin{bmatrix} 0.003 & 0.013 & 0.022 & 0.013 & 0.003 \\ 0.013 & 0.059 & 0.097 & 0.059 & 0.013 \\ 0.022 & 0.097 & 0.159 & 0.097 & 0.022 \\ 0.013 & 0.059 & 0.097 & 0.059 & 0.013 \\ 0.003 & 0.013 & 0.022 & 0.013 & 0.003 \end{bmatrix},$$

$$\nabla S = \sqrt{(g_{i,j}^1)^2 + (g_{i,j}^2)^2}, i = \overline{1, W}, j = \overline{1, H}.$$

Набор LI содержит три лингвистических переменных

$$LI = \langle A_1, A_2, A_3 \rangle,$$

где A_1 – лингвистическая переменная, описывающая значение яркости, как результат вычисления градиента яркости по оси X; содержит 3 термина: низкое (low), среднее (middle) и высокое (high) значение яркости; определена на универсальном множестве $X_1 = [0; 255]$ (рис. 2a),

A_2 – лингвистическая переменная, описывающая значение яркости, как результат вычисления градиента яркости по оси Y; A_2 содержит 3 термина: низкое (low), среднее (middle) и высокое (high) значение градиента; (определяются аналогично термам A_1 , рис.2a),

A_3 – лингвистическая переменная, описывающая значение яркости, как результат вычисления низкочастотной составляющей изменения яркости изображения; содержит 3 термина: низкое (low), среднее (middle) и высокое (high) значение; определена на универсальном множестве $X_3 = [0; 255]$ (рис. 2б).

Результирующая лингвистическая переменная LO описывает уверенность в наличии границы на исходном изображении. Переменная содержит три термина: низкая (low), средняя (middle), высокая (high) уверенности (определяются аналогично термам A_1 , рис.2a).

Набор правил R содержит 27 нечетких правил типа ЕСЛИ-ТО. Для каждого правила экспертом установлена степень доверия к правилу.

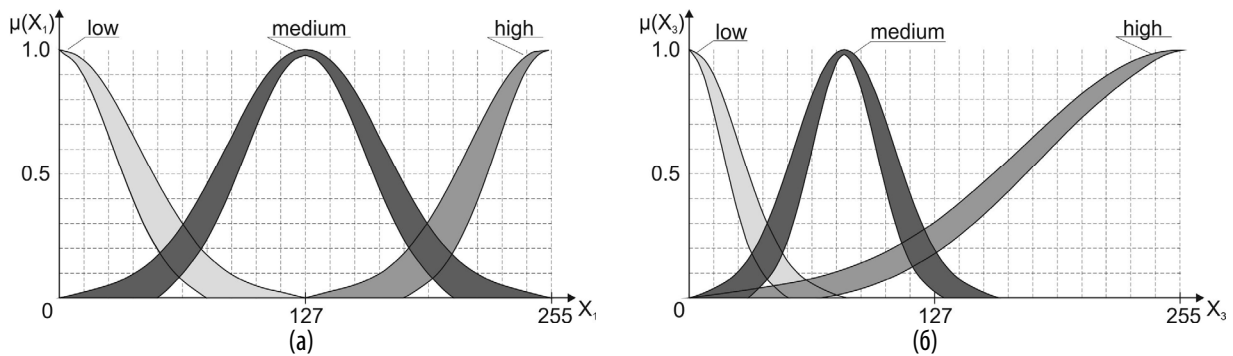


Рисунок 2 – Лінгвістическіе переменніе MG.
(а) – лінгвістическіе переменніе A_1 ; (б) – лінгвістическіе переменніе A_3

Пример нечеткого правила из набора R

r_k : IF $g_{i,j}^1 \in$ "низкое значение" AND
 $g_{i,j}^2 \in$ "низкое значение" AND
 $g_{i,j}^3 \in$ "высокое значение"
 THEN "средний уровень уверенности в существовании границы"
 (доверие к правилу равно 0.7).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленные в работе модифицированные методы выделения границ (MS, MG) были использованы для обработки изображения «Lena» (рис. 3а). Полученные изображения с выделенными границами для MS и MG представлены на рис. 3в и рис. 3д соответственно. MS и MG демонстрируют хорошие результаты, а различия в выделенных границах связаны с различиями в наборах фильтров предложенных методов. Однако визуальная оценка качества выделения границы субъективна для наблюдателя. Поэтому в работе для оценки предложенной обобщенной модели выделения границ был использован критерий оценки количества пикселей изображения, ложно выделенных как граничные (False Classification Ratio, FCR) [7]

$$FCR = \frac{C_F}{C_T} \cdot 100\%$$

где C_F – количество пикселей, ложно выделенных как граничные,

C_T – общее количество пикселей изображения.

$$C_F = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H \alpha_{i,j},$$

$$\alpha_{i,j} = \begin{cases} 1, & \beta_{i,j} > V_{DEV} \\ 0, & \beta_{i,j} \leq V_{DEV} \end{cases},$$

$$\beta = \frac{|S_{i,j}^T - S_{i,j}^F|}{S_{MAX}} \cdot 100\%,$$

где $S_{i,j}^T$ – яркость пикселя изображения с правильными границами (в данной работе будем считать, что границы, полученные в результате применения методов MS (рис. 3в) или MG (рис. 3д) к исходному изображению, являются правильными),

$S_{i,j}^F$ – яркость пикселя изображения, полученного в результате применения метода MS (рис. 3г) или MG (рис. 3е) к исходному изображению с 5% аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN),

S_{MAX} – максимально возможное нормированное значение яркости изображений,

V_{DEV} – допустимый процент отклонения яркости пикселя (на основании перепада яркости изображений цифровой фотографии принимается равным 7%).

Процент ложно выделенных пикселей для MS составил 39%, а для MG – 42%. Учитывая характер внесенного шума, результат выделения границ является приемлемым даже при грубой оценке.

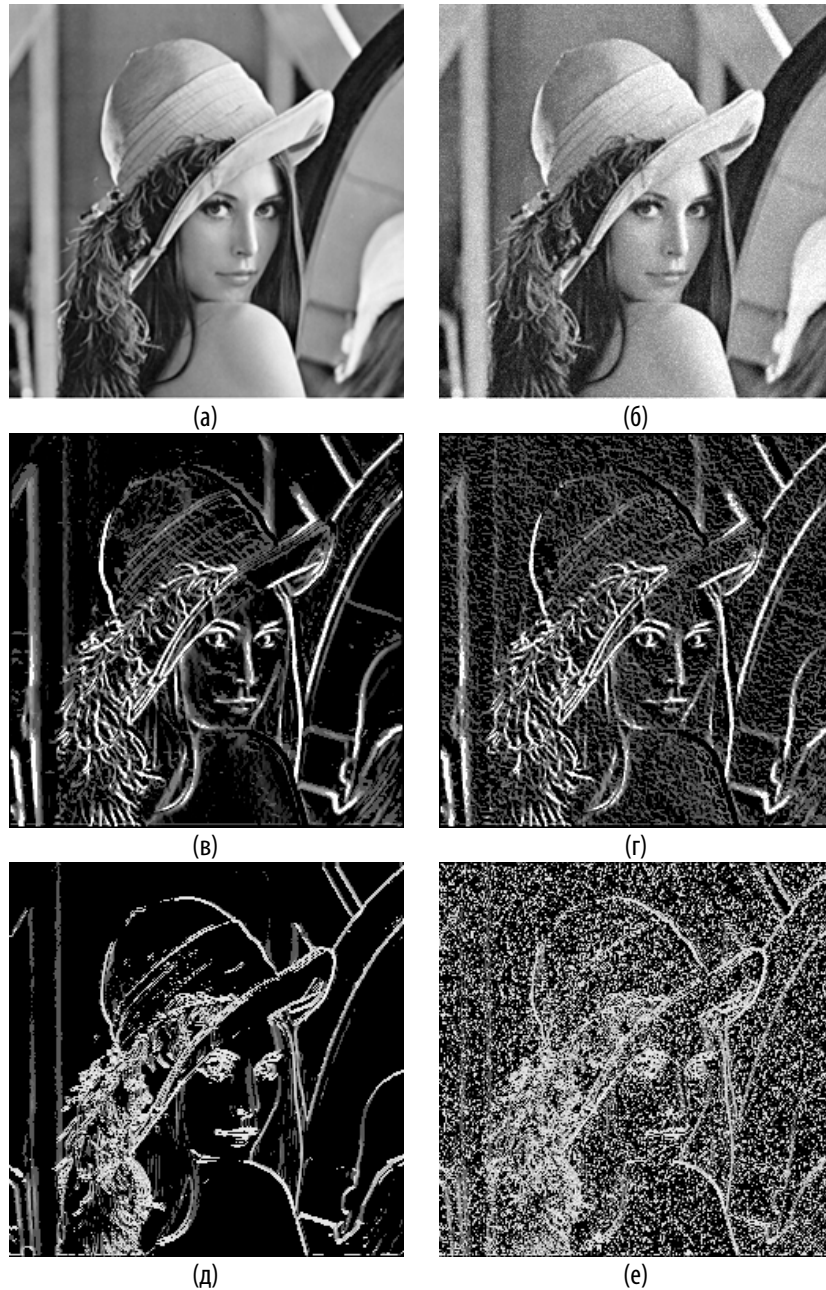
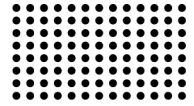
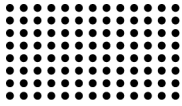


Рисунок 3 – Результат роботи методів MS і MG.

(а), (б) – вихідне зображення і вихідне зображення, оброблене AWGN; (в), (г) – результат застосування MS і MG до вихідного зображення; (д), (е) – результат застосування MS і MG до вихідного зображення, обробленого AWGN

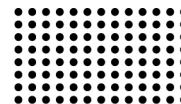
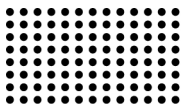
Выделение границ и оценка качества их выделения выполнялись с помощью разработанного приложения и пакета библиотек поддержки DIT2FLS. Для разработки приложения использовались Microsoft Visual Studio 2010, технология .NET, язык программирования C#.

Требования для эксплуатации приложения:

1. Операционная система: начиная с Windows XP с пакетом обновления 3 (SP3) и выше.
2. Microsoft .NET Framework 4.0.

Выводы

В данной работе построена обобщенная модель выделения границ изображения на основе DIT2FLS.



Модель отражает подход к формированию методов выделения границ на основе нечетких множеств второго типа. Модификации методов Собеля и градиентного метода показали приемлемые результаты. Оценка качества выделения границ выполнена на основе кри-

терия ложно выделенных в границу пикселей. Расширение обобщенной модели выделения границ изображения обеспечивается за счет уточнения набора лингвистических переменных и базы нечетких правил.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Miosso C.J. Fuzzy Inference System Applied to Edge Detection in Digital Images /C.J. Miosso, A. Bauchspiess //Proceedings of the V Brazilian Conference on Neural Networks, 2001, April 2-5, Rio de Janeiro, Brazil. – pp. 481-486.
2. Mendoza O.A New Method for Edge Detection in Image Processing using Interval Type-2 Fuzzy Logic /O. Mendoza, P. Melin, G. Licea //Proceedings of the IEEE International Conference on Granular Computing, 2007, pp.151-156.
3. Mendoza O. The Use of Interval Type-2 Fuzzy Logic as a General Method for Edge Detection /O. Mendoza, P. Melin, J.R. Castro //IFSA-EUSFLAT, 2009. – pp.774-779.
4. Петренко Т.Г. Пакет библиотек и среда поддержки нечётких дискретных интервальных логических систем второго типа /Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук //Системы обработки информации. Сборник научных работ. – 2011. – №8 (98). – С.151-156.
5. Cognitive&Uncertainty Research Group. DIT2FLS Library Package. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dit2fls.com/projects/>
6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление /А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – С.273.
7. Yüksel M.E. Application of Type-2 Fuzzy Logic Filtering to Reduce Noise in Color Images /M.E. Yüksel, A. Baştürk //IEEE Computational Intelligence Magazine, 2012, Aug. – pp.25-35.