

УДК 004.93



МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ПОДЧЕРКИВАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И АНАЛИЗЕ СЦЕН

М. В. Полякова¹, В. Н. Крылов², Н. П. Волкова³

¹ ОНПУ, г. Одесса, Украина, marina_polyakova@rambler.ru

² ОНПУ, г. Одесса, Украина, victor_krylov@inbox.ru

³ ОНПУ, г. Одесса, Украина, volkova_np@rambler.ru

Статья посвящена разработке методологии выбора вида и параметров подчеркивающего вейвлет-преобразования, обеспечивающей повышение качества процедуры сегментации изображений. Для этого выделен компромиссный критерий, включающий два критерия: помехоустойчивость подчеркивающего преобразования и погрешность определения координат точек границ однородных областей, значения которых оценивались с помощью выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса подчеркивающего преобразования. Определен критерий качества системы компьютерного распознавания зрительных образов, построены графики зависимости параметра преобразования от значений показателя качества подчеркивающего преобразования. С помощью данных графиков определялись интервалы значений параметра преобразования, которые учитывались в процессе принятия решения о целесообразности применения того или иного вида подчеркивающего преобразования для достижения семантической достаточности.

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОДЧЕРКИВАЮЩЕЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА СЕГМЕНТАЦИИ

Введение

При распознавании иерархических объектов и анализе сцен возникает необходимость в обеспечении требуемой достоверности распознавания на разных уровнях иерархии объектов и подобъектов. Одной из базовых процедур в системе компьютерного распознавания зрительных образов (СКРЗО) является сегментация изображений на однородные по какому-либо признаку или набору признаков области (сегменты). Целью этой процедуры является уменьшение объема обрабатываемой при распознавании информации за счет выделения границ однородных областей. Составной частью процедуры сегментации изображений является подчеркивающее преобразование (ПП), цель которого — концентрация энергии сигнала изображения вблизи границ сегментов. При распознавании иерархических объектов, т. е. имеющих структуру «объект-подобъект», а также при анализе сцен ПП позволяет выделять объекты и подобъекты требуемых геометрических размеров. Именно это преобразование определяет главным образом помехоустойчивость процедуры сегментации и погрешность выделения границ однородных областей. Требования к таким характеристикам существенно отличаются для объектов на разных уровнях иерархического представления изображения. Обеспечить эти требования можно путем выбора вида и параметров ПП. На современном этапе в методах контурной и текстурной сегментации изображений при обнаружении и локализации объектов распознавания применяются различные линейные и нелинейные ПП, в частности, вейвлет-преобразование (ВП). Существующие методологии выбора вида и параметров ВП проводят оценку качества

ПП, как правило, по результатам сегментации. Однако сегментация изображений является сложной многоэтапной процедурой, поэтому целесообразно осуществлять выбор вида и параметров ПП уже на этапе разработки метода сегментации.

Целью работы являлось формирование методологии выбора вида и параметров подчеркивающего ВП, которая обеспечивает повышение качества процедуры сегментации изображений в СКРЗО.

Предлагается методология выбора вида и параметров подчеркивающего ВП для процедуры сегментации изображений, которая включает следующие этапы:

- выбор компромиссного критерия качества ПП, использующего априорную информацию об изображении и цели обработки;
- определение критерия качества системы, на который влияет выбранный компромиссный критерий качества ПП;
- определение по заданному интервалу для значений критерия качества системы интервалов значений показателей качества ПП;
- определение анализирующих вейвлетов и модификаций ВП, применяемых для подчеркивания границ однородных областей в процедуре сегментации изображений;
- построение графиков зависимости параметра преобразования от значений показателей качества ПП для выделенных из литературы модификаций ВП и анализирующих вейвлетов;
- определение по интервалам значений показателя качества ПП интервалов значений параметра этого преобразования, обеспечивающих достижение семантической достаточности;

– принятие решения о целесообразности применения того или иного вида ПП в зависимости от того, способствует ли выделенный интервал значений параметра этого преобразования достижению семантической достаточности.

1. Постановка задачи

При формулировании предлагаемой методологии выбора ПП при сегментации изображений под критерием понимается признак, который при оценке или сравнении функционирующих объектов рассматривается как наиболее существенный. Показатель — это количественная характеристика одного или нескольких свойств объекта, определяемая при заданных параметрах. Компромиссный критерий включает в себя ряд других критериев и показателей, часто противоречивых [1].

Далее описывается реализация каждого из этапов предлагаемой методологии выбора вида и параметров подчеркивающего ВП для процедуры сегментации изображений. Прежде всего проводится анализ существующих критериев качества ПП, использующих априорную информацию об изображении и цели обработки. Подобные критерии качества ПП были введены в [2]. Они характеризуют погрешность определения координат граничных точек изображения и помехоустойчивость результата ПП.

Погрешность определения координат граничных точек изображения оценивалась с помощью показателя эффективной протяженности импульса, полученного в результате ПП изображения перепада интенсивности. Этот показатель определяется из условия двукратного уменьшения амплитуды сигнала изображения в пространстве ПП. В частности, если перепад интенсивности ориентирован на изображении вертикально, то эффективная протяженность импульса L определялась из условия $\frac{r(x,y)}{\max_{x \in [a,b]} r(x,y)} = 0,5$, где $r(x,y)$ — результат

ПП изображения перепада интенсивности, $[a,b]$ — область значений пространственной координаты x строки изображения.

Для ПП изображения, искаженного наличием шума, целесообразно применять фильтрацию. Тогда помехоустойчивость результата ПП изображения оценивается с помощью показателя выигрыша фильтра, используемого в составе ПП. Выигрышем фильтра называется величина $M = \sigma_{\text{вх}}^2 / \sigma_{\text{вых}}^2$, где $\sigma_{\text{вх}}^2$, $\sigma_{\text{вых}}^2$ — дисперсия шума на входе и выходе фильтра соответственно.

После выбора из литературы критериев качества ПП, использующих априорную информацию об изображении и цели обработки, а также соответствующих им показателей, из этих критериев составлялся компромиссный критерий качества ПП. Затем определялся критерий качества систе-

мы, на который влияют упомянутые критерии качества ПП. Заметим, что выбор вида и параметров ПП изображения относится к классу задач выбора, характеризующихся наличием неопределенности даже после проведения серии наблюдений. Данные, полученные в результате эксперимента, связаны с рассматриваемой проблемой в совокупности с другими контролируемыми факторами. Предположим, что экспериментальные данные для формализации решения задачи выбора вида и параметров ПП изображения являются статистическими. Это означает, что выборка наблюдений (x_1, \dots, x_N) принадлежит множеству X всевозможных выборок, на котором задано распределение вероятностей. Это распределение различно для разных θ — закономерностей, отыскиваемых в выборке наблюдений и принадлежащих множеству Θ возможных закономерностей, на котором необходимо сделать выбор. Информация о θ содержится в выборке (x_1, \dots, x_N) и проблема выбора на множестве Θ сводится к извлечению этой информации или принятию статистического решения [3].

На реализовавшееся значение выборки влияют не только искомая закономерность θ , но и случайные факторы. Результат совместного отображения θ и некоторого случайного воздействия n в пространство X представим с помощью оператора μ : $(x_1, \dots, x_N) = \mu(\theta, n)$. Пусть Γ — пространство решений, на котором производится выбор. В него входят как элементы множества Θ , так и дополнительные решения типа отказа от выбора, требования увеличить число наблюдений и т. п.

Алгоритм выбора — это действие некоторого оператора δ , называемого решающей функцией, над выборкой (x_1, \dots, x_N) . Каждой выборке (x_1, \dots, x_N) этот оператор ставит в соответствие решение $\gamma \in \Gamma$, $\gamma = \delta(x, i)$. Аргумент i показывает, что одну и ту же выборку можно обрабатывать по-разному, получая решения разного качества, а также, что качество решения зависит от того, какие априорные предположения вошли в структуру алгоритма [3].

Под априорной понимается информация о природе наблюдений, имеющаяся до синтеза новой процедуры δ . А именно, априорные сведения характеризуют: 1) пространство решений Θ ; 2) природу случайных факторов n ; 3) оператор μ , определяющий характер взаимодействия θ и n ; 4) пространство наблюдений X ; 5) требования к качеству решений.

Статистическому синтезу алгоритма принятия решений δ предшествует выбор критерия качества решения, который зависит от полноты располагаемых априорных данных. Полное описание случайного объекта состоит в задании распределения вероятностей на множестве возможных состояний

этого объекта. Поэтому полное задание априорной информации состоит в том, что считаются известными: 1) распределение $P(\theta)$, $\theta \in \Theta$; 2) условное распределение значений выборки $F(x_1, \dots, x_N | \theta)$, $(x_1, \dots, x_N) \in X$, $\theta \in \Theta$; 3) функция потерь $I(\gamma, \theta)$, которая выражает отношение пользователя решением к расхождению между γ , т. е. тем, что он должен использовать вместо истинного θ , и состоянием θ . За меру качества решения при таком уровне априорной информации принимается среднее значение функции потерь $I(\gamma, \theta)$, связанное с конкретным решением γ , полученным при обработке выборки (x_1, \dots, x_N) . Эта мера качества решения называется средним риском и обозначается как

$$R(\gamma(x_1, \dots, x_N)) = M_{x, \theta} I(\gamma(x_1, \dots, x_N), \theta) = \int \int_{X \times \Theta} I(x_1, \dots, x_N | \theta) dF(x_1, \dots, x_N | \theta) dP(\theta).$$

2. Оценка достоверности распознавания объектов

По среднему риску оценивается достоверность распознавания объектов всей СКРЗО в целом. Это объясняется тем, что СКРЗО является многофункциональной системой и множество выполняемых ею функций подчинено единой цели — обеспечить требуемую достоверность принимаемого решения, т. е. требуемую достоверность распознавания объектов [4]. Например, для медицинской диагностической системы важна постановка правильного диагноза. На достоверность распознавания объектов всей СКРЗО в целом, оцениваемой по среднему риску, влияют показатели качества каждой отдельной процедуры СКРЗО. Следовательно, значение среднего риска для всей СКРЗО в целом определяется, в частности, показателями качества ПП процедуры сегментации.

Зависимости среднего риска системы от значений показателей качества ПП позволяют определить по заданному интервалу значений критерия качества системы интервалы значений показателей качества ПП, обеспечивающих достижение семантической достаточности этого преобразования.

Под множеством семантической достаточности показателя качества отдельной процедуры СКРЗО понимается множество таких его значений, при которых получено изображение, обеспечивающее требуемое значение вероятности достижения цели [5].

Далее в статье в качестве примера, иллюстрирующего предлагаемую методологию выбора вида и параметров ПП, использовалась конкретная СКРЗО — система распознавания лиц.

Для определения интервалов значений показателей качества ПП, входящих в множество семантической достаточности процедуры сегментации, строятся графики зависимости среднего риска от

значений каждого из показателей качества разрабатываемой процедуры. Зависимости среднего риска от выигрыша фильтра ПП и эффективной протяженности импульса носят характер, приведенный на рис. 1.

При малых значениях выигрыша фильтра значение среднего риска велико. Затем при увеличении выигрыша фильтра ПП значения среднего риска убывают и входят в насыщение. Это отражает тот факт, что увеличение помехоустойчивости ПП целесообразно только до некоторого значения выигрыша фильтра, после которого значения среднего риска практически не уменьшаются.

Что касается эффективной протяженности импульса ПП, то значение среднего риска велико при малых значениях этого показателя. Это соответствует случаю, когда результаты сегментации насыщены мелкими малозначащими и даже мешающими распознаванию деталями. Затем при увеличении эффективной протяженности импульса ПП значения среднего риска убывают, достигают минимума, а потом опять возрастают. Последнее связано с тем, что увеличение эффективной протяженности импульса ПП ведет к увеличению погрешности для определения координат границ однородных областей изображения и, следовательно, к увеличению среднего риска.

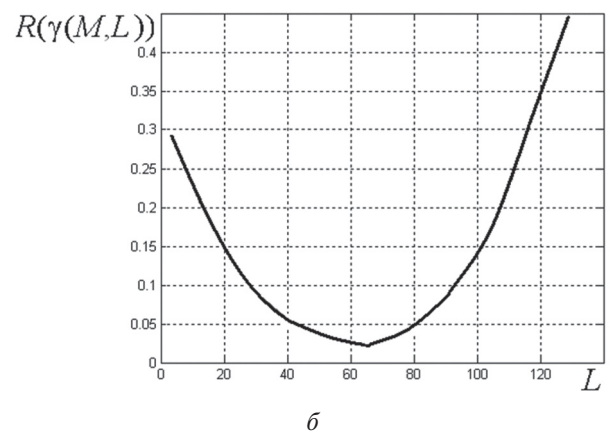
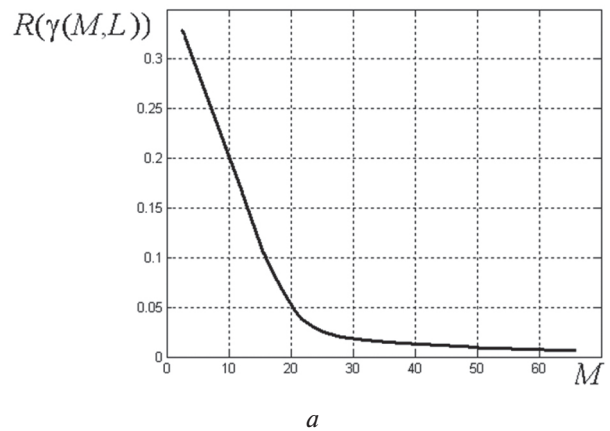


Рис. 1. Характер зависимости среднего риска $R(\gamma(M, L))$ от выигрыша фильтра ПП M (а) и эффективной протяженности импульса L (б)

Определим по заданному интервалу значений для критерия качества системы интервалы значений показателей качества ПП. График зависимости среднего риска от выигрыша фильтра ПП аппроксимируем гладкой функцией $f_M(M)$. Для нахождения максимального и минимального значений выигрыша фильтра, соответствующих заданным минимальному и максимальному значениям среднего риска, численно решаем уравнения $f_M(M) = b_{M_1}$, $f_M(M) = b_{M_2}$, где b_{M_1} , b_{M_2} — заданные значения максимального и минимального среднего риска соответственно (рис. 2).

Пример 1. Рассмотрим следующий пример нахождения максимального и минимального значений выигрыша фильтра, соответствующих заданным максимальному и минимальному значениям среднего риска. Пусть минимальное и максимальное значение среднего риска составили соответственно 0 и 0,2. Зависимость среднего риска от выигрыша фильтра представлена на рис. 1, а. Этот график аппроксимировался полиномом 3-й степени, в результате чего

$$f_M(M) = 0,3282 + 0,0032M - 0,0030M^2 + 0,0002M^3.$$

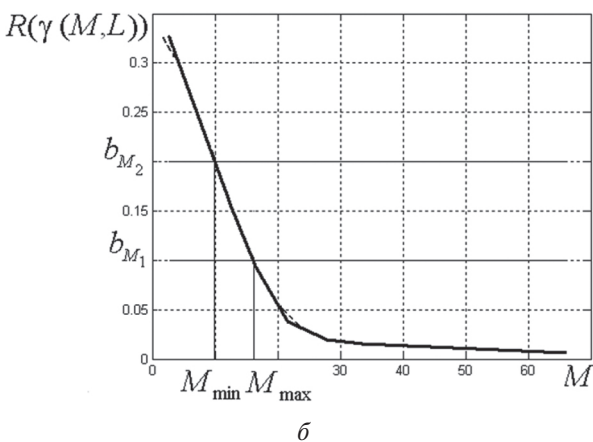
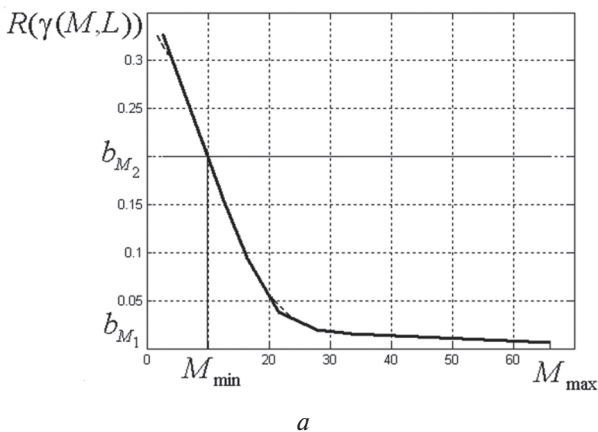


Рис. 2. Нахождение максимального M_{max} и минимального M_{min} значений выигрыша фильтра M , соответствующих различным заданным минимальному b_{M_1} и максимальному b_{M_2} значениям среднего риска $R(\gamma(M, L))$ (а, б)

После численного решения уравнений

$$0,3282 + 0,0032M - 0,0030M^2 + 0,0002M^3 = 0;$$

$$0,3282 + 0,0032M - 0,0030M^2 + 0,0002M^3 = 0,2$$

получен интервал значений выигрыша фильтра [9,9901; 66,0990] (рис. 2, а).

Зависимость среднего риска от эффективной протяженности импульса на некотором интервале значений аргумента входит в насыщение, а по обе стороны от этого интервала возрастает (рис. 3). Характер возрастания среднего риска справа и слева от рассматриваемого интервала значений аргумента различен. Поэтому на графике зависимости среднего риска от эффективной протяженности импульса ПП осуществлялся поиск точки минимума. Для фрагментов графика слева и справа от найденной точки аппроксимация выполнялась отдельно с использованием функций $f_{L_1}(L)$, $f_{L_2}(L)$. Например, для зависимости с рис. 3 применялась аппроксимация полиномом 3-й степени. Затем определялись максимальные и минимальные значения эффективной протяженности импульса ПП, соответствующие заданному максимальному значению среднего риска. Для этого численно решались нелинейные уравнения $f_{L_1}(L) = b_{L_2}$, $f_{L_2}(L) = b_{L_2}$, где b_{L_2} — заданное максимальное значение среднего риска.

Заданному интервалу значений среднего риска могут соответствовать 2 интервала значений протяженности импульса ПП (рис. 3, б). Тогда дополнительно нужно численно решать уравнения $f_{L_1}(L) = b_{L_1}$, $f_{L_2}(L) = b_{L_1}$, где b_{L_1} — заданное минимальное значение среднего риска.

Пример 2. Рассмотрим пример нахождения интервалов эффективной длительности L импульса ПП, соответствующих заданному минимальному и максимальному значениям среднего риска 0 и 0,2. Зависимость среднего риска от L представлена на рис. 3, а. Минимум соответствующей кривой достигается при значениях аргумента $L = 66$. В результате аппроксимации фрагментов графика слева и справа от точки $L = 66$ были получены функции

$$f_{L_1}(L) = 0,3254 - 0,0096L - 0,0001L^2,$$

$$f_{L_2}(L) = 32,7856 - 2,0913L + 0,0547L^2 - 0,0008L^3.$$

Решая численно нелинейные уравнения

$$0,3254 - 0,0096L - 0,0001L^2 = 0,2;$$

$$32,7856 - 2,0913L + 0,0547L^2 - 0,0008L^3 = 0,2,$$

получили интервал значений эффективной протяженности импульса ПП [12,9864; 106,9373] (рис. 3, а). Если минимальное значение среднего риска равно 0,1; то дополнительно численно решая уравнения

$$0,3254 - 0,0096L - 0,0001L^2 = 0,1 ;$$

$$32,7856 - 2,0913L + 0,0547L^2 - 0,0008L^3 = 0,1 ,$$

имеем интервалы значений L [12,9864; 28,3527] и [93,5824; 106,9373] (рис. 3, б).

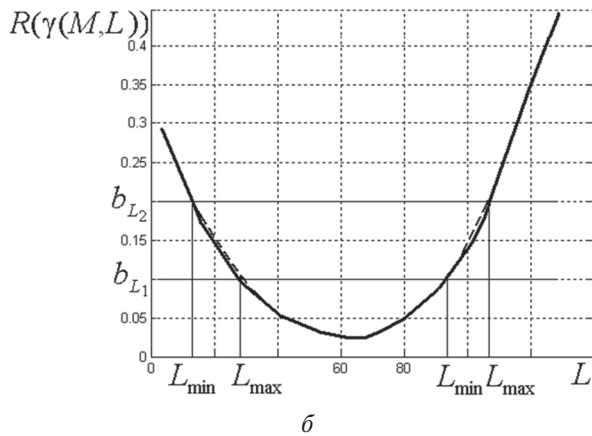
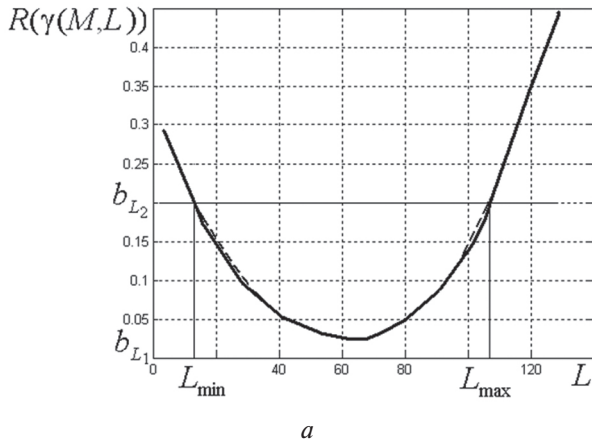


Рис. 3. Нахождение интервалов значений эффективной протяженности L импульса ПП, соответствующих максимальному и минимальному значениям среднего риска $R(\gamma(M, L))$: одного интервала (а), двух интервалов (б)

3. Определение анализирующих вейвлетов и модификаций ВП

Далее согласно предлагаемой методологии выбора вида и параметров подчеркивающего ВП определялись анализирующие вейвлеты и модификации ВП, применяемые для подчеркивания границ однородных областей в процедуре обработки изображений.

В литературе в качестве подчеркивающего преобразования в составе процедуры сегментации изображений применялись гиперболическое ВП [6], преобразование Хаара [7], свертка с гауссианом и производной гауссиана [8], а также разработанные авторами репагулярное ВП [6], ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции [9], преобразование с обобщенными вейвлет-функциями [6].

Модифицированное гиперболическое ВП реализуется путем свертки исходного сигнала изображения с функциями

$$\Psi_1\left(\frac{x}{s}\right) = \frac{1}{\pi\alpha x\sqrt{s}} G_1\left(\frac{x}{s}\right),$$

где $G_1(x) = \begin{cases} \theta(x-\varepsilon) - \theta(x-\gamma), & |x| > \varepsilon, \\ x^2 / \varepsilon, & |x| \leq \varepsilon; \end{cases}$; $\theta(x)$ — функция Хевисайда; $\varepsilon, \gamma, \alpha$ — константы; s — параметр масштаба.

Репагулярное ВП представляет свертку исходного сигнала изображения с функциями

$$\psi(x, a) = |x|^{-a} \operatorname{sgn}(x) w(x, a),$$

где $w(x, a)$ — функция окна, $w(x, a) = \begin{cases} 1, & |x|^{-a} \geq \varepsilon, \\ 0, & |x|^{-a} < \varepsilon; \end{cases}$ ε — фиксировано. Фильтры этого преобразования рассчитывались по формуле

$$\{g_a(n)\}_{n=0}^{2N_a} = \left\{ -\frac{1}{N_a^a}, \dots, -\frac{1}{4^a}, -\frac{1}{3^a}, -\frac{1}{2^a}, -1, 1, \frac{1}{2^a}, \frac{1}{3^a}, \frac{1}{4^a}, \dots, \frac{1}{N_a^a} \right\},$$

где a — параметр репагулярного ВП; $2N_a$ — количество коэффициентов фильтра.

Преобразование с обобщенными вейвлет-функциями реализуется путем свертки с функциями

$$\Psi_2\left(\frac{x}{s}\right) = \tilde{\Psi}_2\left(\frac{x}{s}\right) \phi(x),$$

где $\tilde{\Psi}_2\left(\frac{x}{s}\right) = \frac{1}{\left(\frac{x}{s}\right)^2 + \sqrt{\frac{x}{s}}}$; $\phi(x)$ — регуляризирующая

функция, определенная в [10]; s — параметр масштаба.

ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции, предполагает различные подходы для построения анализирующих вейвлетов в случае, когда параметр масштаба $s > 1$ или $s < 1$. В первом случае для построения вейвлет-функций применялся лифтинг. Фильтры преобразования в этом случае имеют коэффициенты:

$$g_s = \left\{ -\frac{1}{ks}, \dots, -\frac{1}{3s}, -\frac{1}{2s}, -1, 1, \frac{1}{2s}, \frac{1}{3s}, \dots, \frac{1}{ks} \right\},$$

где $k > 0$ — фиксированное целое число.

Во втором случае построение вейвлет-функций осуществлялось путем геометрических преобразований графика степенной функции. Коэффициенты соответствующих фильтров имеют вид:

$$g_s^{new} = \left\{ -\frac{1}{s \cdot k + 1}, \dots, -\frac{1}{s \cdot 2 + 1}, -\frac{1}{s + 1}, -1, \right.$$

$$1, \frac{1}{s+1}, \frac{1}{s \cdot 2+1}, \dots, \frac{1}{s \cdot k+1} \}.$$

Анализирующие вейвлеты Хаара строились на основе функции

$$h_\gamma(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\gamma_0}}, & -\gamma_0 \leq x < 0, \\ -\frac{1}{\sqrt{2\gamma_0}}, & 0 \leq x < \gamma_0, \\ 0, & x \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right] \setminus [-\gamma_0, \gamma_0), \end{cases}$$

где $\gamma_0 \leq \frac{1}{2}$ — размер носителя функции Хаара [7].

Эта функция представляет собой импульсную характеристику фильтра, согласованного с моделью перепада значений признака сегментации. Фильтры преобразования в этом случае имеют вид:

$$h_n(x) = (\underbrace{0, 0, \dots, 0}_n, \underbrace{1, 1, \dots, 1}_n),$$

где n — количество нулей и количество единиц среди коэффициентов фильтра.

4. Экспериментальные исследования

Выделенные из литературы модификации ВП и анализирующие вейвлеты применялись для построения графиков зависимости параметра преобразования от показателей качества ПП.

Для построения графиков зависимости параметра преобразования от выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП использовалось тестовое полутонное изображение, состоящее из 256×256 элементов. В центре этого изображения находился вертикально ориентированный перепад интенсивности. На изображение перепада был наложен независимый гауссовский шум со среднеквадратическим отклонением $\sigma_{вх}$. Отношение сигнал/шум $q_{вх}$ по мощности определялось как $q_{вх} = h^2 / \sigma_{вх}^2$, где h — высота перепада интенсивности.

Для вычисления эффективной протяженности импульса, полученного в результате ПП перепада интенсивности, строка незашумленного тестового изображения подвергалась свертке с импульсной характеристикой фильтра ПП. Далее определялось максимальное значение A модуля результата преобразования. Число пикселей, результат преобразования интенсивности которых превысил по модулю $A/2$, принималось в качестве оценки эффективной протяженности импульса ПП.

Чтобы оценить выигрыш фильтра, входящего в состав ПП, зашумленное тестовое изображение подвергалось свертке с этим фильтром. Из полученного изображения вычитался результат свертки незашумленного тестового изображения с фильтром ПП. Вычислялось среднеквадратичное

отклонение $\sigma_{вых}$ значений интенсивности изображения, полученного после вычитания. Отношение сигнал/шум $q_{вых}$ по мощности определялось как $q_{вых} = S_{вых}^2 / \sigma_{вых}^2$, где $S_{вых}$ — амплитуда незашумленного тестового изображения после свертки с фильтром ПП. Выигрыш M фильтра ПП вычислялся по формуле $M = q_{вых} / q_{вх}$.

5. Анализ полученных результатов

На рис. 4-5 жирной сплошной линией представлены графики зависимости параметра ПП от выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса для каждого вида преобразования. При построении этих графиков изменялся параметр ПП в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Значения варьируемых параметров ПП

Вид ПП	Варьируемый параметр	Множество значений параметра
Регулярное ВП	Показатель степени a	{0,0625; 0,125; 0,18; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8; 0,9; 1}
Модифицированное гиперболическое ВП	Параметр масштаба s	{0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 4,5; 4,7; 5,1; 5,3; 5,5; 5,7; 5,85}
Преобразование с вейвлетами, построенными путем преобразования графика функции и лифтинга	Параметр s	{0,0001; 0,001; 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3}
Преобразование с обобщенными вейвлет-функциями	Параметр масштаба s	{0,05; 0,15; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 4; 8; 12; 16}
Свертка с гауссианом и производной гауссиана	Параметр масштаба σ	{0,2; 0,6; 0,8; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 10; 12; 16}
Преобразование Хаара	Размер n носителя вейвлета Хаара	{2; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200; 220; 240; 256}

Полученные графики использовались для определения по интервалам значений показателя качества ПП интервалов значений параметра преобразования, обеспечивающих достижение семантической достаточности. Для этого зависимости параметра преобразования от выигрыша фильтра ВП и эффективной протяженности импульса аппроксимировались сплайнами 3-й степени по полиномам Эрмита. Далее граничные значения интервалов показателей качества ПП подставлялись в соответствующие графикам выражения аппроксимирующих зависимостей и вычислялись граничные значения интервалов параметра преобразования.

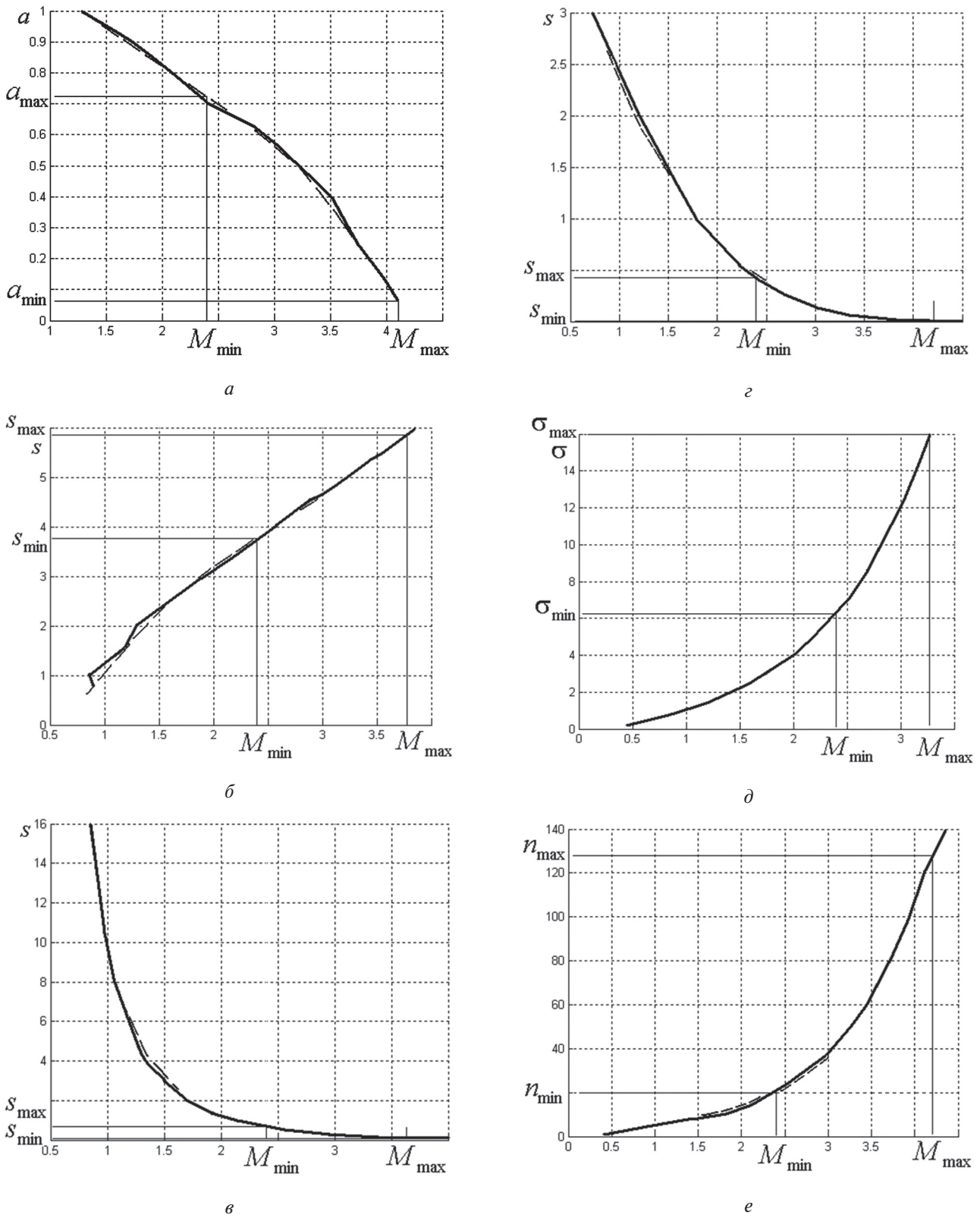


Рис. 4. Определение по интервалу $[M_{\min}, M_{\max}]$ значений выигрыша M фильтра ПП интервала значений:
 — параметра a регулярного ВП $[a_{\min}, a_{\max}]$ (а);
 — параметра s модифицированного гиперболического ВП $[s_{\min}, s_{\max}]$ (б);
 — параметра s преобразования с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга $[s_{\min}, s_{\max}]$ (в);
 — параметра s преобразования с обобщенными вейвлет-функциями $[s_{\min}, s_{\max}]$ (г);
 — параметра σ свертки с гауссианом и производной гауссиана $[\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ (д);
 — параметра n преобразования Хаара $[n_{\min}, n_{\max}]$ (е).

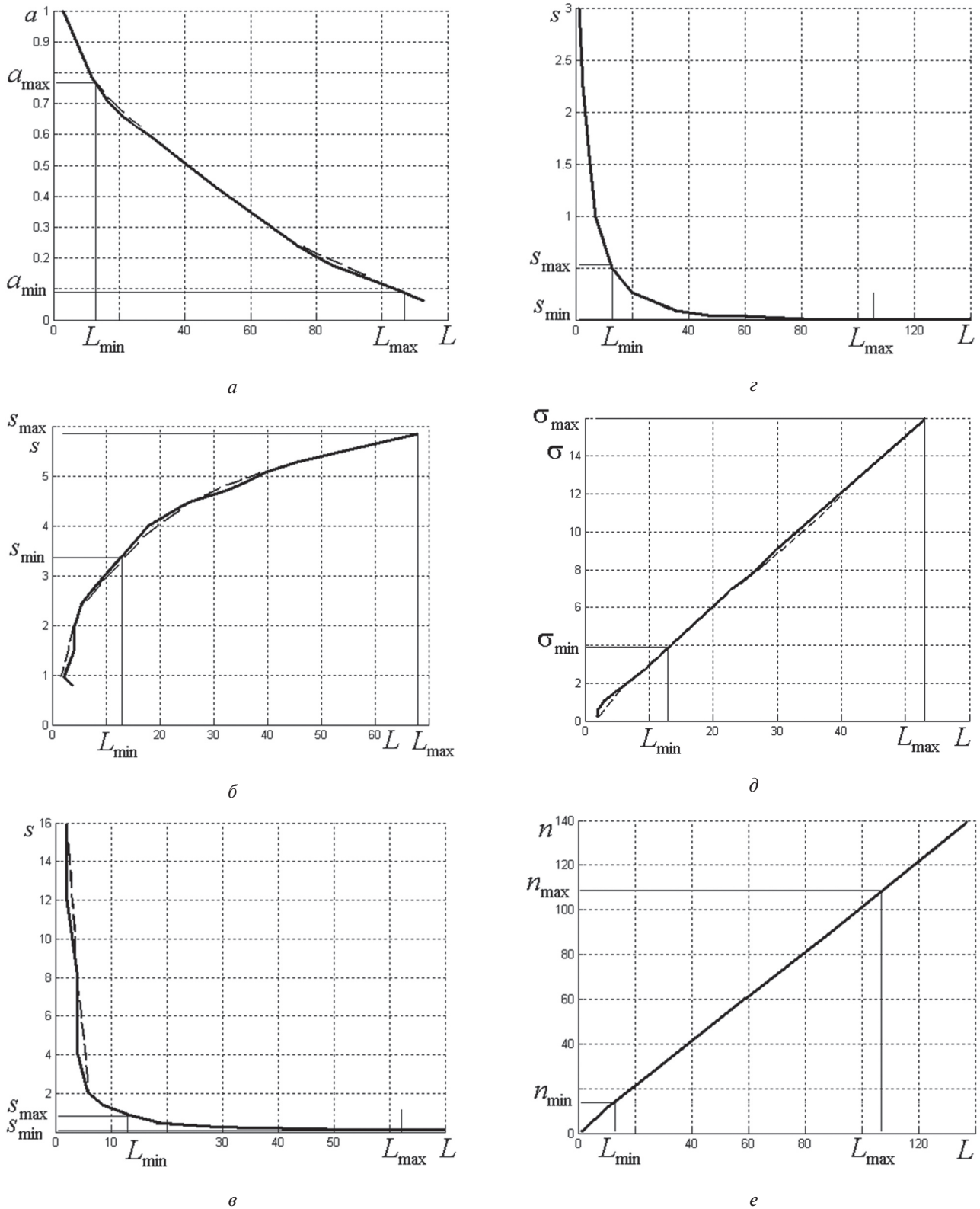


Рис. 5. Определение по интервалу $[L_{\min}, L_{\max}]$ значений эффективной протяженности L импульса ПП интервала значений:
 — параметра a регулярного ВП $[a_{\min}, a_{\max}]$ (а);
 — параметра s модифицированного гиперболического ВП $[s_{\min}, s_{\max}]$ (б);
 — параметра s преобразования с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга $[s_{\min}, s_{\max}]$ (в);
 — параметра s преобразования с обобщенными вейвлет-функциями $[s_{\min}, s_{\max}]$ (г);
 — параметра σ свертки с гауссианом и производной гауссиана $[\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ (д);
 — параметра n преобразования Хаара $[n_{\min}, n_{\max}]$ (е).

Пример 3. Рассмотрим пример вычисления интервалов значений параметра каждого вида ПП и принятия решения о целесообразности применения того или иного вида ПП для обработки изображений, характеризующихся значениями выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП, полученными в примерах 1 и 2. Исследуемые виды ПП и характеризующие их параметры приведены в табл. 1. Зависимости соответствующих параметров каждого вида ПП от выигрыша фильтра приведены на рис. 4. Каждая зависимость с рис. 4 аппроксимировалась сплайном 3-й степени по полиномам Эрмита. Полученные в примере 1 значения выигрыша фильтра подставлялись в выражения для сплайнов и вычислялись соответствующие им значения параметра ПП. Результаты аппроксимации представлены на рис. 4 пунктирной линией, получение интервалов значений параметров обозначено на графиках тонкой сплошной линией. Аналогично вычислялись интервалы значений параметров каждого вида ПП для полученных в примере 2 значений эффективной протяженности импульса ПП (рис. 5).

Интервалы значений параметров для каждого вида ПП, найденные по графикам выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения варьируемых параметров ПП

Вид ПП	Варьируемый параметр	Полученные интервалы значений параметра	Решение о целесообразности применения ПП
Регулярное ВП	Показатель степени a	[0,0891; 0,7241]	Целесообразно
Модифицированное гиперболическое ВП	Параметр масштаба s	[3,7704; 5,8500]	Целесообразно
Преобразование с вейвлетами, построенными путем преобразования графика функции и лифтинга	Параметр s	[0,0028; 0,4286]	Целесообразно
Преобразование с обобщенными вейвлет-функциями	Параметр масштаба s	[0,0500; 0,6891]	Целесообразно
Свертка с гауссианом и производной гауссиана	Параметр масштаба σ	[6,2524; 16]	Целесообразно
Преобразование Хаара	Размер n носителя вейвлета	[19,8987; 107,9373]	Целесообразно

Для принятия решения о целесообразности применения того или иного вида ПП вычислялось пересечение интервалов значений параметров, полученных по графикам выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП. Если это пересечение множеств непусто, то принималось решение о целесообразности применения рассматриваемого вида преобразования на множестве значений параметра, совпадающим с полученным пересечением множеств. В противном случае, если пересечение интервалов значений параметра ПП, полученных по графикам выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса пусто, то принимается решение о нецелесообразности применения соответствующего вида преобразования для заданного интервала значений среднего риска (см. табл. 2).

Выводы

В работе выделен компромиссный критерий, использующий априорную информацию об изображении и цели обработки. Этот критерий включает в себя два противоречивых критерия: помехоустойчивость ПП и погрешность определения координат точек границ однородных областей, значения которых оценивались с помощью показателей качества ПП: выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП. Определен критерий качества СКРЗО, на который влияют эти критерии качества ПП. По заданному интервалу критерия качества СКРЗО выделены интервалы значений показателей качества ПП. Для модификаций ВП, применяемых для подчеркивания границ однородных областей изображения, построены графики зависимости параметра преобразования от значений показателя качества ПП. С использованием полученных графиков по интервалам значений показателя качества ПП определялись интервалы значений параметра преобразования, обеспечивающие достижение семантической достаточности. Построенные интервалы значений параметра ПП учитывались в процессе принятия решения о целесообразности применения того или иного вида ПП для достижения семантической достаточности.

Таким образом, разработана методология выбора вида и параметров подчеркивающего ВП, обеспечивающая повышение качества процедуры сегментации изображений.

Список литературы: 1. Першиков, В.И. Толковый словарь по информатике [Текст] / В.И. Першиков, В.М. Савинков. — М.: Финансы и статистика, 1991. — 543 с. 2. Полякова М.В. Оценка качества подчеркивающих преобразований для задачи сегментации изображений [Текст] / М.В. Полякова, В.Н. Крылов, Н.А. Гуляева // Бионика интеллекта. — 2010. — № 3 (74). — С. 62–69. 3. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф.И. Перегудов

дов, Ф.П. Тарасенко. — М.: Высшая школа, 1989. — 320 с.

4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. [Текст] / С. Хайкин: Пер. с англ. — М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. — 1104 с.

5. Шилейко, А.В. Введение в информационную теорию систем [Текст] / А.В. Шилейко, В.Ф. Кочетов, Ф.Ф. Химушин / Под редакцией А.В. Шилейко. — М.: Радио и связь, 1985. — 280 с.

6. Polyakova, M.V., Krylov V.N. Classification of methods of the signal semantic wavelet transform for image contour segmentation // Computing. — 2008. — V. 7, № 1. — P. 51–57.

7. Akansu A.N., Haddad R.A. Multiresolution signal decomposition. — New York: Academic Press, 2000. — 500 p.

8. Canny J.E. A computational approach to edge detection // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986. — № 8. — P. 679–698.

9. Polyakova M.V., Krylov V.N. Edge detection based on wavelets constructed by transforms of the graph of power function // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інтеграції: Матеріали Міжнародної наук. техн. конф. TCSET 2010 (23–27 лютого 2010 р.). — Львів-Славсько: Видавництво Національного ун-ту Львівська політехніка, 2010. — С. 270–273.

10. Гельфанд И.М. Обобщенные функции и действия над ними [Текст] / И.М. Гельфанд, Г.Е. Шиллов. — Вып. 1. — М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1959. — 470 с.

Поступила в редколлегию 10.02.2011.

УДК 004.93

Методологія вибору підкреслюючого перетворення при сегментації зображень ієрархічних об'єктів і аналізі сцен / М. В. Полякова, В. М. Крилов, Н. П. Волкова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 56–65.

Виділено компромісний критерій, що використовує апріорну інформацію про зображення та мету обробки. Цей критерій включає два суперечливі критерії: завадостійкість підкреслюючого перетворення і погрішність визначення координат точок границь однорідних областей, значення яких оцінювалися за допомогою показників якості підкреслюючого перетворення: виграшу фільтру і ефективної протяжності імпульсу підкреслюючого перетворення. Визначено критерій якості системи комп'ютерного розпізнавання зорових образів, на який впливають ці критерії якості підкреслюючого перетворення. По заданому інтервалу значень критерія якості системи комп'ютерного розпізнавання зорових образів виділено інтервали значень показників якості підкреслюючого перетворення. Для модифікацій вей-

лет-перетворення, застосованих для підкреслення границь однорідних областей зображення, побудовано графіки залежності параметра перетворення від значень показника якості підкреслюючого перетворення. З використанням отриманих графіків визначалися інтервали значень параметра перетворення, що забезпечують досягнення семантичної достатності. Ці інтервали значень параметра підкреслюючого перетворення враховувалися в процесі ухвалення рішення про доцільність застосування того або іншого виду підкреслюючого перетворення. Таким чином, розроблено методологію вибору виду і параметрів підкреслюючого вейвлет-перетворення, що забезпечує підвищення якості процедури сегментації зображень.

Табл. 2. Лл. 5. Бібліогр.: 10 найм.

UDC 004.93

Methodology of choice of underlining transform for segmentation of images of hierarchical objects and analysis of the scenes / M. V. Polyakova, V. N. Krylov, N. P. Volkova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 56–65.

In the paper it is chosen a compromise criterion which use a priori information about an image and the aim of processing. This criterion includes two contradictory criteria. These are the robustness of underlining transform and the error of determining of the coordinates of the points of the homogeneous regions boundaries. The values of these criteria were estimated using the quality indexes of underlining transform. These indexes are the gain of filter and effective width of impulse of underlining transform. The quality criterion of the computer recognition system of visual patterns is detected. The quality criteria of underlining transform effect on the quality criterion of this system. The intervals of quality index value of underlining transform are selected for the given interval of quality criterion of the computer recognition system of visual patterns. For modifications of wavelet transform applied for underlining of the boundaries of image homogeneous areas the graphics of dependence of transform parameter from the quality index values of underlining transform are built. With the use of these graphics the intervals of value of parameter of underlining transform were determined which provide achievement of semantic sufficiency. These intervals of parameter value for underlining transform were taken into consideration in the process of decision-making about expedience of application one or another type of underlining transform for semantic sufficiency. Thus methodology of choice of the type and parameters of underlining wavelet transform is elaborated. This methodology provides the increasing of the quality of image segmentation.

Tab 2. Fig. 5. Ref.: 10 items.