

УДК 004.93



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЧЕРКИВАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

М. В. Полякова¹, В. Н. Крылов², Н. А. Гуляева³

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

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

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

Статья посвящена формированию обобщенного показателя качества подчеркивающего преобразования для процедуры сегментации изображений, обеспечивающего повышение эффективности обработки изображений в системах компьютерного распознавания зрительных образов. Для этого проанализированы существующие показатели качества подчеркивающего преобразования. Те из них, которые учитывают имеющуюся априорную информацию об изображении и цели обработки, выделены в обобщенный векторный показатель качества подчеркивающего преобразования.

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

Введение

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 вблизи границ сегментов. Именно ПП определяет главным образом помехоустойчивость процедуры сегментации и погрешность выделения границ однородных областей. Кроме того, при распознавании иерархических объектов, т. е. имеющих структуру «объект-подобъект», а также при анализе сцен ПП позволяет выделять объекты требуемых геометрических размеров.

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). Качество ПП оценивается, как правило, по результатам сегментации. Поэтому представляется целесообразным разработать метод оценивания качества самого ПП, позволяющий обоснованно проводить его выбор в зависимости от свойств изображений и цели обработки.

При оценке качества ПП целесообразно учитывать априорную информацию об изображении. В большинстве случаев известен уровень помех на изображении (или его можно оценить), а также максимальное значение погрешности, которая допустима при определении координат точек границ объекта на изображении. Последняя вычисляется исходя из заданного качества распознавания объектов.

По аналогии с определением показателя качества СКРЗО в целом и отдельных процедур СКРЗО, в частности, процедуры сегментации [1], введем определение показателя качества этапа сегментации.

Определение. Показателем качества этапа сегментации называется расстояние в смысле некоторой метрики между результатом обработки изображения при моделировании этапа сегментации и идеальным результатом.

Оператор системы, осуществляющей ПП, определен в [2] как состоящий из линейной фильтрации и нелинейного преобразования. Матрица значений признака сегментации преобразуется линейными фильтрами. В соответствии с целями обработки с помощью априорной информации об изображении линейные фильтры для ПП выбираются таким образом, чтобы ширина полосы пропускания фильтров уменьшалась с увеличением уровня преобразования. Линейная фильтрация используется для подчеркивания границ однородных областей изображения на разных уровнях преобразования. Если нужно обеспечить инвариантность к знаку результата ПП, после линейной фильтрации на каждом уровне выполняется нелинейное преобразование, например, вычисляется абсолютное значение. Результатом ПП является упорядоченная последовательность матриц изображения с подчеркнутыми границами областей разных размеров. К этой последовательности матриц изображения далее может быть применено композиционное преобразование. Оно объединяет результаты обработки изображения на нескольких уровнях в единую матрицу, например, с помощью применения в каждой точке изображения операторов среднеквадратического значения функции.

1. Постановка задачи

В литературе рассматриваются отдельные показатели качества ПП, что затрудняет оценку различных операторов. Для адекватного учета частных

показателей качества целесообразно ввести обобщенный векторный показатель качества ПП. Последний представляет собой многомерный вектор, зависящий от изображения значений признака сегментации $g(x, y)$, результата ПП $r(x, y)$ этого изображения и вектора параметров ПП α :

$$W = Q(\alpha, g(x, y), r(x, y)),$$

где Q — функционал, задающий значения компонентов векторного показателя качества ПП.

При разработке векторного показателя включенные в него показатели разбиваются на группы, отражающие разные аспекты качества ПП. Однако при таком подходе остается ряд трудностей:

1. Определение частных показателей, входящих в обобщенный векторный показатель. Трудности связаны с тем, что частные показатели содержат элементы субъективизма, а также не учитывают отдельные конкретные цели обработки.

2. Учет взаимосвязи между частными показателями для разных уровней обработки в методах сегментации изображений. Многоэтапность методов сегментации приводит к иерархичности ПП и, соответственно, иерархичности оценок его качества. Значения частных показателей верхнего уровня преобразования основываются на значениях показателей качества ПП на нижних уровнях.

3. Совместное использование в обобщенном векторном показателе качества ПП частных показателей, имеющих разнородный характер.

Обобщенный векторный показатель качества позволяет производить сравнение различных ПП, осуществлять выбор их параметров и добиваться наилучших значений показателей качества сегментации с учетом исходных данных метода сегментации.

Такого показателя качества, отражающего рассматриваемые исходные данные метода сегментации в полном объеме, на современном этапе не существует. В этом плане актуальным является выделение отдельных частных показателей качества ПП с последующим исследованием их взаимосвязи и введением векторного показателя качества, компоненты которого формируются из частных показателей качества ПП.

Цель данной работы заключается в формировании обобщенного показателя качества ПП для процедуры сегментации изображений, который обеспечивает повышение эффективности обработки изображений в СКРЗО.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- анализ существующих показателей качества ПП;
- введение показателей качества ПП, учитывающих имеющуюся априорную информацию об изображении и цели обработки, а также выделение

этих показателей в обобщенный векторный показатель качества ПП.

2. Оценка погрешности определения координат граничных точек изображения

При сегментации изображений в СКРЗО необходимо учитывать количество и ценность информации на разных уровнях обработки. Меры количества и ценности информации рассматриваются в трех аспектах: структурном, статистическом и семантическом [3, 4]. Последний аспект определяется по тому эффекту, который информация, полученная в результате ПП, оказывает на функционирование СКРЗО в целом. Этот аспект не рассматривается в данной работе ввиду сложности оценки влияния результата ПП на функционирование СКРЗО в целом.

Используем при определении обобщенного векторного показателя качества ПП структурный и статистический аспекты измерения количества информации. Структурный аспект предполагает измерение геометрического параметра информационного сообщения (длина, площадь, объем и др.) путем подсчета информационных элементов. Для изображений информационный элемент представляет собой пиксель. Тогда геометрический параметр информационного сообщения рассчитывается в пикселях. В рамках структурного аспекта оценки качества ПП вычисляется погрешность определения координат граничных точек изображения.

Последнюю характеристику оценим с помощью эффективной протяженности импульса, полученного в результате ПП изображения перепада интенсивности. Эту эффективную протяженность импульса определим из условия двукратного уменьшения амплитуды сигнала изображения в пространстве ПП. В частности, если перепад интенсивности ориентирован на изображении вертикально, то эффективную протяженность импульса

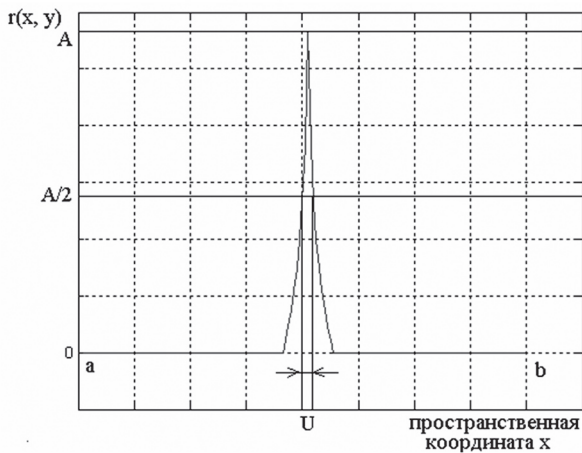
L определяем из условия $\frac{r(x, y)}{\max_{x \in [a, b]} r(x, y)} = 0,5$, где

$r(x, y)$ — результат ПП перепада интенсивности (рис. 1, а).

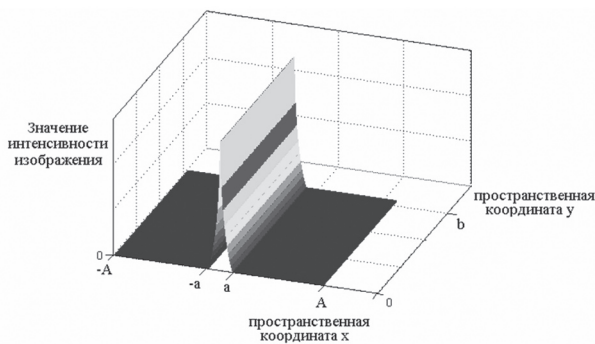
При оценке эффективной протяженности импульса, выбран уровень двукратного уменьшения амплитуды сигнала изображения в пространстве ПП, так как в случае оптимального обнаружения перепада интенсивности изображения как детерминированного сигнала по критерию максимума апостериорной вероятности в качестве порогового значения используется половина энергии сигнала изображения в пространстве ПП [5]. Последняя связана с амплитудой импульса, полученного в результате ПП изображения перепада интенсивности, неравенством Коши-Буняковского [6].

3. Оценка помехоустойчивости ПП

Статистический аспект информационных мер учитывает конкретные условия применения СКР-ЗО, а именно, помеховую ситуацию на изображении. Для ПП изображения, искаженного наличием шума, целесообразно применять линейную фильтрацию. Тогда в рамках статистического аспекта информационных мер помехоустойчивость результата ПП изображения оценим с помощью выигрыша фильтра, используемого в составе ПП. Для определения этого показателя заметим, что частотный коэффициент передачи $K(j\omega)$ линейного фильтра выбирается так, что значения $|K(j\omega)|$ велики в области частот, где сконцентрирована основная доля энергии изображения, и малы там, где велик спектр мощности шума. Тогда, подав на вход такого преобразования сумму сигнала и шума, на выходе получаем увеличение относительной доли сигнала изображения.



а



б

Рис. 1: а — определение эффективной протяженности импульса; здесь $A = \max_{x \in [a, b]} r(x, y)$; б — модуль результата ПП изображения вертикального перепада интенсивности

Пусть входной сигнал представляет собой значение интенсивности $I(x, y_i)$ i -го столбца изображения и является суммой полезного сигнала $I_0(x, y_i)$ и шума $N(x, y_i)$:

$$I(x, y_i) = I_0(x, y_i) + N(x, y_i).$$

Предполагается, что незашумленное изображение и шум некоррелированы в том смысле, что

$$\langle I_0(x, y_i), N(x, y_i) \rangle = \int_a^b I_0(x, y_i) N(x, y_i) dx = 0. \quad (1)$$

Интенсивность колебаний на выходе фильтра характеризуют средним квадратом входного изображения, который в силу равенства (1) является суммой средних квадратов незашумленного изображения и шума:

$$\langle I^2(x, y_i) \rangle = \langle I_0^2(x, y_i) \rangle + \langle N^2(x, y_i) \rangle = \langle I_0^2(x, y_i) \rangle + \sigma_{\text{вх}}^2,$$

где $\sigma_{\text{вх}}^2$ — дисперсия шума на входе линейного фильтра.

Относительный уровень сигнала изображения на входе фильтра описывается отношением сигнал/шум $Q_{\text{вх}}$:

$$Q_{\text{вх}} = \langle I_0^2(x, y_i) \rangle / \sigma_{\text{вх}}^2.$$

Так как линейная фильтрация подчиняется принципу суперпозиции, незашумленное изображение и шум обрабатываются независимо при помощи этой операции. Результирующее изображение

$$I_{\text{вых}}(x, y_i) = I_{0\text{вых}}(x, y_i) + N_{\text{вых}}(x, y_i)$$

имеет средний квадрат

$$\begin{aligned} \langle I_{\text{вых}}^2(x, y_i) \rangle &= \langle I_{0\text{вых}}^2(x, y_i) \rangle + \langle N_{\text{вых}}^2(x, y_i) \rangle = \\ &= \langle I_{\text{вх}}^2(x, y_i) \rangle + \sigma_{\text{вых}}^2, \end{aligned}$$

где $\sigma_{\text{вых}}^2$ — дисперсия шума на выходе фильтра.

Отношение сигнал/шум на выходе фильтра определяется формулой

$$Q_{\text{вых}} = \langle I_{0\text{вых}}^2(x, y_i) \rangle / \sigma_{\text{вых}}^2.$$

Выигрыш фильтра называется величина $M = Q_{\text{вых}} / Q_{\text{вх}}$. Если $M > 1$, то фильтрация зашумленного изображения приводит к повышению относительного уровня полезного сигнала изображения на выходе фильтра. Поэтому для оценки помехоустойчивости ПП предлагается использовать выигрыш фильтра преобразования, характеризующий в рамках статистического аспекта изменение количества информации на изображении после ПП.

4. Энтропийный показатель изображения

В качестве характеристики погрешности определения координат точек перепада значений признака сегментации также использовался энтропийный показатель, который определяется следующим образом [7].

Изображение рассматривается как плотность вероятности случайной величины в пространстве значений интенсивности. Каждая точка из области определения изображения Ω характеризуется зна-

чением интенсивности или соответственно (после нормирования) вероятностью освещенности. Тогда можно определить распределение вероятностей с плотностью

$$p(x,y) = \frac{I(x,y)}{\sum_{(x,y) \in \Omega} I(x,y)}. \quad (2)$$

Энтропийный показатель изображения как распределения вероятностей с плотностью вероятности $p(x,y)$ определен в [7] как

$$S(p(x,y)) = - \sum_{(x,y) \in \Omega} p(x,y) \ln p(x,y). \quad (3)$$

Эта величина интерпретируется как среднее содержание информации в распределении $p(x,y)$. Энтропийный показатель (3) инвариантен к умножению изображения на константу вследствие нормирования (2), однако значение этого показателя изменяется при изменении значений интенсивности изображения на аддитивную константу. Как характеристика погрешности определения координат точек перепада значений интенсивности изображения с помощью ПП энтропийный показатель монотонно изменяется при монотонном изменении параметра преобразования.

Этот результат справедлив для разных видов ПП (обычного ВП, ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции [8, 9], преобразования с обобщенными вейвлет-функциями [8] и др.). Столбец изображения модуля результата ПП тестового изображения перепада представляет собой треугольный импульс (рис. 1, б), ширина которого зависит от параметра преобразования (масштаба для обычного ВП, показателя степени для репагулярного ВП). Энтропийный показатель изображения, вычисляемый по формуле (3), монотонно возрастает при возрастании ширины импульса и характеризует погрешность определения координат точек перепада значений признака сегментации.

5. Экспериментальные исследования

Для экспериментальных исследований использовалось тестовое полутоновое 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 $\sigma_{\text{вх}}$. Отношение сигнал/шум $q_{\text{вх}}$ по амплитуде определялось как $q_{\text{вх}} = h^2 / \sigma_{\text{вх}}^2$, 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, сгенерированное зашумленное тестовое изображение подвергалось свертке с этим фильтром. Из полученного изображения вычитался результат свертки незашумленного тестового изображения с фильтром ПП. Вычислялось среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\text{вых}}$ значений интенсивности изображения, полученного после вычитания. Отношение сигнал/шум $q_{\text{вых}}$ по амплитуде определялось как $q_{\text{вых}} = S_{\text{вых}}^2 / \sigma_{\text{вых}}^2$, где $S_{\text{вых}}$ — амплитуда незашумленного тестового изображения после свертки с фильтром ПП.

Выигрыш M фильтра ПП вычислялся по формуле $M = q_{\text{вых}} / q_{\text{вх}}$. Оценивание энтропийного показателя производилось по формуле

$$S(p(x,y)) = - \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \tilde{p}(x,y) \ln \tilde{p}(x,y),$$

где $\tilde{p}(x,y) = \begin{cases} p(x,y), & p(x,y) > 0 \\ 1, & p(x,y) = 0 \end{cases}$; $p(x,y)$ — результат ПП изображения, нормированный по формуле (2).

При проведении экспериментальных исследований использовались фильтры модифицированного гиперболического ВП [8], репагулярного ВП [8], ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции [9], преобразования с обобщенными вейвлет-функциями [8], а также фильтры, применявшиеся в методе Канни сегментации изображений [10]. Последние получены путем дискретизации свертки гауссиана

$$G_{\sigma}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

с его производной, где σ — параметр гауссиана.

Фильтры модифицированного гиперболического ВП получают в результате дискретизации функций

$$\psi_1\left(\frac{x}{s}\right) = \frac{1}{\pi\alpha x \sqrt{s}} G_1\left(\frac{x}{s}\right),$$

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.

Фильтры репагулярного ВП являются результатом дискретизации при $x \geq 1, x \leq -1$ функций

Фильтры репагулярного ВП являются результатом дискретизации при $x \geq 1, x \leq -1$ функций

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

где $w(x, a)$ — функция окна; $w(x, a) = \begin{cases} 1, & |x|^{-a} \geq \varepsilon \\ 0, & |x|^{-a} < \varepsilon \end{cases}$;

ε — фиксировано. Эти фильтры рассчитывались по формуле

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

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

Фильтры преобразования с обобщенными вейвлет-функциями были получены путем дискретизации функций

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

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 [11]; 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 $s > 1$, $s < 1$. В первом случае для построения вейвлет-функций применялся лифтинг. Фильтры преобразования в этом случае имеют коэффициенты:

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

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

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

Заметим, что в данной работе проблема сегментации формируется как проблема обнаружения детерминированных сигналов на фоне помех. Поэтому при разработке метода оценки качества ПП учитывались принципы оптимальности обнаружения.

Фильтры перечисленных преобразований сравнивались с фильтрами преобразования Хаара [12]. Последние получают путем дискретизации функций

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

где $\gamma \leq \frac{1}{2}$ — размер носителя функции Хаара. 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. Случай $n = 1$ соответствует дифференциатору, $n = 128$ — согласованному фильтру для исследуемого тестового изображения.

6. Анализ полученных результатов

Замечено, что с ростом параметра ПП, а именно, масштаба обычного ВП или параметра репагулярного ВП, ширина треугольного импульса на изображении с рис. 1, б увеличивается, что обусловлено возрастанием помехоустойчивости преобразования. Вместе с этим, как было показано, увеличивается и энтропийный показатель такого изображения. Последнее вызвано увеличением погрешности определения координат точек на перепаде значений признака сегментации, для характеристики которой и применяют энтропийный показатель.

Охарактеризуем поведение показателей качества ПП в зависимости от свойств реализующих его фильтров. Наименьшую помехоустойчивость имеет дифференциатор, которому соответствует фильтр с коэффициентами $(-1, 1)$. Применение дифференциатора для подчеркивания границ однородных областей изображения дает наименьшую погрешность определения координат точек границ. Самую высокую помехоустойчивость получаем, используя в составе ПП фильтр, согласованный с моделью перепада значений признака сегментации. Однако погрешность определения координат точек на границах однородных областей у такого ПП также наиболее высокая. Поэтому выигрыш фильтра и эффективная протяженность импульса ПП имеют минимальное значение для дифференциатора, возрастают по мере роста эффективной ширины носителя импульсной характеристики фильтра преобразования и достигают максимального значения для согласованного фильтра. Аналогично ведет себя и энтропийный показатель изображения. Однако его значение зависит не только от эффективной ширины носителя

импульсной характеристики фильтра преобразования и эффективной протяженности импульса на выходе ПП, но и от формы последнего. Чем ближе по форме импульс на выходе ПП к треугольнику, тем ниже энтропийный показатель. Для импульса в форме треугольника, который получается при использовании фильтра, согласованного с перепадом значений признака сегментации, энтропийный показатель принимает самое низкое значение при фиксированном значении выигрыша фильтра преобразования. При сужении импульса, который по форме похож на график функции $y = |x|^\alpha$ при $\alpha \in (0, 1), \alpha \rightarrow 0$, энтропийный показатель возрастает.

На рис. 2 представлены кривые «эффективная протяженность импульса — выигрыш фильтра» для каждого вида ПП. При построении кривых варьировалось значение отношения сигнал/шум тестового изображения (оно выбиралось из множества $\{1, 2, 5, 10, 20, 50, 100\}$), а также изменялся параметр ПП в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Значения варьируемых параметров ПП

Вид ПП	Варьируемый параметр	Множество значений параметра
Регулярированное 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	$\{0,05; 0,15; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 4; 8; 12; 16\}$
Преобразование из метода Канни	Параметр масштаба σ	$\{0,2; 0,6; 0,8; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 10; 12; 16\}$
Преобразование Хаара	Размер носителя вейвлета Хаара	$\{2; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200; 220; 240; 256\}$

Аналогичным образом строились кривые «энтропийный показатель — выигрыш фильтра» (рис. 3). Рассматриваемые характеристики только косвенно учитывают уровень ложных совпадений, так как перечисленные преобразования в большинстве случаев сглаживают повторные обнаружения.

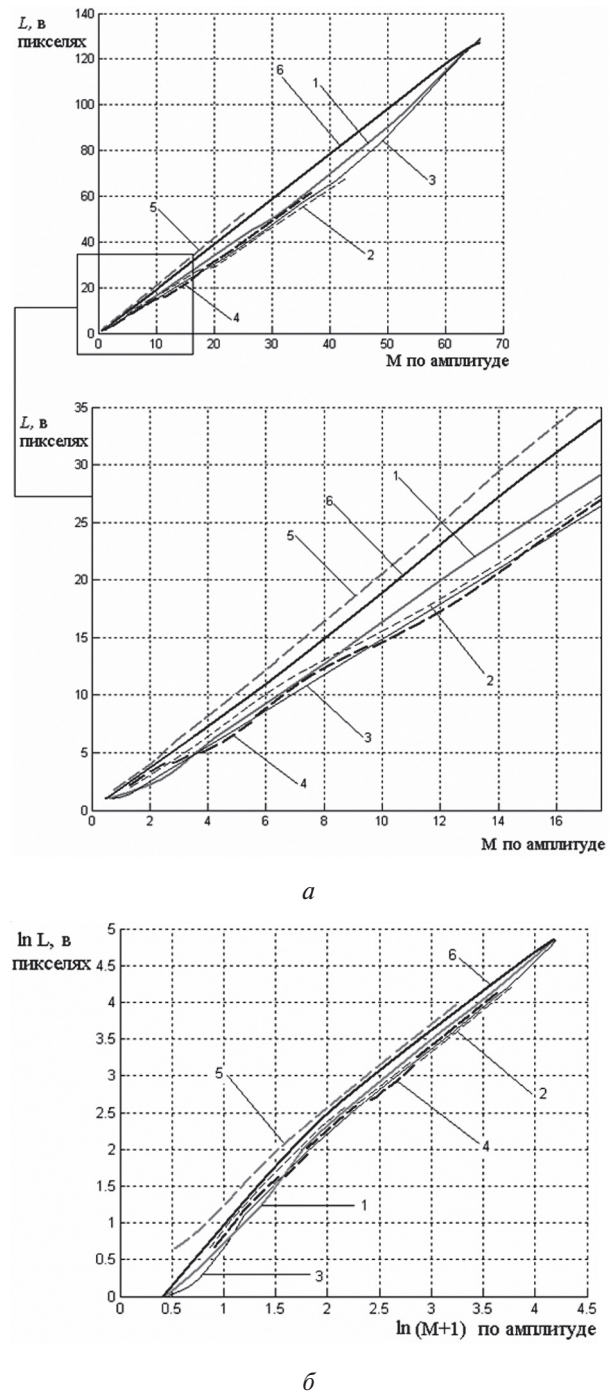
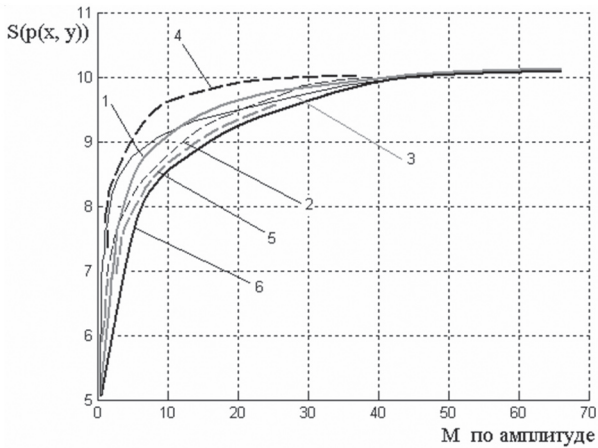


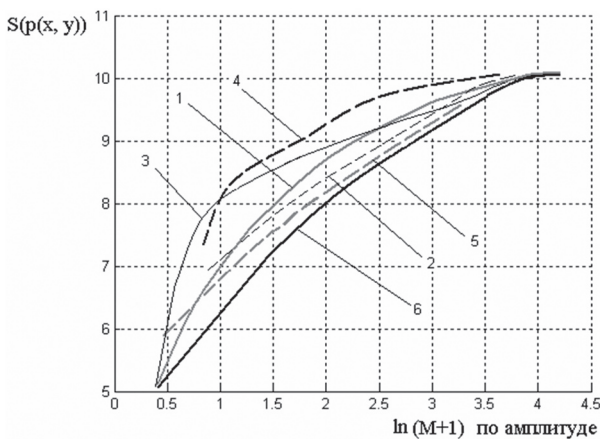
Рис. 2. Зависимость эффективной протяженности импульса от выигрыша фильтра (а — в линейном и б — в логарифмическом масштабе): 1 — регулярированное ВП; 2 — модифицированное гиперболическое ВП; 3 — преобразование с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга; 4 — преобразование с обобщенными вейвлет-функциями; 5 — преобразование из метода Канни; 6 — преобразование Хаара

Анализируя полученные результаты, заметим, что левая нижняя точка на графиках соответствует дифференциатору (самая низкая помехоустойчивость и самая низкая погрешность определения координат точек на границах однородных областей).

Правая верхняя точка соответствует согласованному фильтру для исследуемого тестового изображения. Параметры репагулярного ВП, ВП с использованием лифтинга и преобразования Хаара можно подобрать таким образом, чтобы эти преобразования включали дифференциатор и согласованный фильтр. Поэтому кривые, соответствующие этим преобразованиям, пересекаются в крайней верхней и крайней нижней точках динамического диапазона значений показателей. Для остальных преобразований нельзя подобрать значения параметров таким образом, чтобы эти преобразования включали дифференциатор и согласованный фильтр. Тогда кривые, соответствующие этим преобразованиям, представляют собой отрезки, приблизительно параллельные фрагментам кривых, покрывающих весь динамический диапазон значений показателей для исследуемого тестового изображения.



а



б

Рис. 3. Зависимость энтропийного показателя изображения от выигрыша фильтра (а — в линейном и б — в логарифмическом масштабе): 1 — репагулярное ВП; 2 — модифицированное гиперболическое ВП; 3 — преобразование с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга; 4 — преобразование с обобщенными вейвлет-функциями; 5 — преобразование из метода Канни; 6 — преобразование Хаара

На координатной плоскости «эффективная протяженность импульса — выигрыш фильтра» предпочтительнее считаются значения, расположенные ниже (им соответствует низкая погрешность определения координат точек границ однородных областей) и правее (с высокой помехоустойчивостью). На координатной плоскости «энтропийный показатель — выигрыш фильтра» низкой погрешности определения координат точек на границах однородных областей и высокой помехоустойчивости соответствуют точки, расположенные выше и правее. Тогда при фиксированном значении выигрыша фильтра наибольшую эффективную протяженность импульса ПП дают фильтры преобразования Хаара. Помехоустойчивость у преобразования Хаара выше, чем у остальных исследуемых ПП, т. к. это преобразование реализует принцип оптимальной фильтрации [6].

Наихудшую помехоустойчивость показали вейвлеты, построенные с использованием лифтинга и преобразований графика степенной функции. Однако соответствующее ПП позволяет получить наименьшую эффективную протяженность импульса результата преобразования.

Репагулярное ВП, модифицированное гиперболическое ВП, преобразование с обобщенными вейвлет-функциями занимают промежуточное положение между преобразованием с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга, и преобразованием Хаара. Они имеют свою область применения в зависимости от помеховой ситуации и цели обработки.

Для исследуемых преобразований самого высокого значения энтропийного показателя при выигрыше фильтра более 2 по амплитуде достигает ПП с обобщенными вейвлет-функциями. На интервале менее 2 по амплитуде самые высокие значения энтропийного показателя получены для вейвлетов, построенных с использованием лифтинга и преобразований графика степенной функции. Похожее соотношение наблюдалось также для зависимостей эффективной протяженности импульса преобразования от выигрыша фильтра.

Заметим также, что для преобразования, использующего гауссовский фильтр, зависимость энтропийного показателя изображения от выигрыша фильтра преобразования практически совпадает с зависимостью, полученной для преобразования Хаара. Это соотношение отмечено на диапазоне значений выигрыша фильтра, вычисленных для преобразования, использующего гауссовский фильтр. Незначительное улучшение помехоустойчивости гауссовского фильтра по сравнению с оптимальным фильтром, используемым в преобразовании Хаара, объясняется погрешностью эксперимента и близостью последнего фильтра к дифференциатору при малых n .

При возрастании параметров s, n, σ ПП из табл. 1 и убывании параметра a репагулярного ВП возрастает помехоустойчивость соответствующих преобразований и растет погрешность определения координат точек границ однородных областей. На графиках эти свойства представлены возрастанием выигрыша фильтра преобразования, эффективной протяженности импульса и энтропийного показателя изображения.

Выводы

Таким образом в данной работе введен обобщенный векторный показатель качества ПП. Этот показатель позволяет обоснованно выбирать вид и параметры ВП при сегментации изображений иерархических объектов и анализе сцен в зависимости от помеховой ситуации, цели обработки и свойств объекта распознавания.

Приведены также результаты эксперимента и сравнительный анализ в качестве ПП модифицированного гиперболического ВП, репагулярного ВП, ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции, преобразования с обобщенными вейвлет-функциями, а также преобразования из метода Канни сегментации изображений. Эти данные рекомендуются для использования при проектировании СКРЗО для выбора ПП при контурной, текстурной сегментации изображений и локализации объекта распознавания.

Список литературы: 1. *Абакумов, В.Г.* Повышение эффективности обработки образной информации в автоматизированных системах [Текст] / В.Г. Абакумов, В.Н. Крылов, С.Г. Антошук // *Электроника и связь: Темат. вып. «Проблемы электроники»*. — 2005. — Ч. 1. — С. 100–105. 2. *Полякова, М.В.* Иерархическое сигнально-семантическое преобразование в пространстве обобщенных функций для задачи сегментации изображений [Текст] / М.В. Полякова, В.Н. Крылов // *Труды Одес. политех. ун-та*. — Одесса, 2006. — Вып. 2 (26). — С. 161–167. 3. *Колмогоров, А.Н.* Алгоритм, информация, сложность [Текст] / А.Н. Колмогоров. — М.: Знание, 1991. — 48 с. 4. *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. 5. *Крылов, В.Н.* Вторичные преобразователи сигналов изображений [Текст] / В.Н. Крылов, М.В. Максимов. — Одесса: Астропринт, 1997. — 176 с. 6. *Баскаков, С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / С.И. Баскаков. — М.: Высш. шк., 1988. — 488 с. 7. *Sporring J.* The entropy of scale-space // *Proc. 13th Int. Conf. Pattern Recognition (ICPR '96)* (August 3–11, 1996). — Vienna, Austria, 1996. — V. 1. — P. 900–904. 8. *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. 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-Славськ: Видавництво Національного ун-ту Львівська політехніка, 2010. — С. 270–273. 10. *Canny J.E.* A computational approach to edge detection // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. — 1986. — № 8. — P. 679–698. 11. *Гельфанд, И.М.* Обобщенные функции и действия над ними [Текст] / И.М. Гельфанд, Г.Е. Шилев. — Вып. 1. — М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1959. — 470 с. 12. *Akansu A.N., Haddad R.A.* Multiresolution signal decomposition. — New York: Academic Press, 2000. — 500 p.

Поступила в редколлегию 7.06.2010.

УДК 004.93

Оцінка якості підкреслюючих перетворень для задачі сегментації зображень / М. В. Полякова, В. М. Крылов, Н. А. Гуляева // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал*. — 2010. — № 3 (74). — С. 62–69.

Введено узагальнений векторний показник якості підкреслюючих перетворень. Цей показник дозволяє обґрунтовано обирати вигляд і параметри вейвлет-перетворення при сегментації зображень ієрархічних об'єктів і аналізі сцен залежно від перешкоджуючої ситуації, мети обробки і властивостей об'єкту розпізнавання. Приведені також результати експерименту і порівняльний аналіз у якості підкреслюючого перетворення модифікованого гіперболического вейвлет-перетворення, репагулярного вейвлет-перетворення, вейвлет-перетворення з використанням ліфтинга і вейвлетів, отриманих шляхом перетворень графіка степеневі функції, перетворення з узагальненими вейвлет-функціями, а також перетворення з методу Канні сегментації зображень. Ці дані рекомендуються для використання при проектуванні системи комп'ютерного розпізнавання зорових образів для вибору підкреслюючих перетворень при контурній, текстурній сегментації зображень і локалізації об'єкту розпізнавання.

Лл. 3. Бібліогр.: 12 найм.

UDC 004.93

Estimation of quality of underlining transforms for the image segmentation problem / M. V. Polyakova, V. N. Krylov, N. A. Gulyaeva // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2010. — № 3 (74). — P. 62–69.

The generalized vector index of quality of underlining transforms is offered. This index allows grounded to choose a type and parameters of wavelet transform during the segmentation of images of hierarchical objects and an analysis of the scene depending on a noise level, processing purpose and properties of the recognition object. The results of experiment and comparative analysis are presented for modified hyperbolic wavelet transform, repagular wavelet transform, wavelet transform with the use of lifting and wavelets got by transforms of the graph of power function, transform with the distributions, and also transform from the method of Canny of image segmentation. This information is recommended for using for synthesis of image processing systems for the choice of underlining transform during edge detection and texture segmentation of images and localization of object of recognition.

Fig. 2. Ref.: 12 items.