

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРЕПАДОВ ЯРКОСТИ

к.т.н. В.Г. Малюк, Марио Тейшейра, к.т.н. А.В. Харченко
(представил д.ф.-м.н., проф. А.И. Бых)

Предлагается интегральный показатель качества выделения контуров и границ при обработке изображений. На основе данного показателя произведена сравнительная оценка эффективности нескольких методов выделения перепадов яркости на модели изображения с размытыми границами при различных отношениях сигнал/шум.

Постановка проблемы. Для выполнения количественной оценки эффективности существующих и разрабатываемых методов выделения контуров и границ при обработке ультразвуковых изображений необходимо иметь, во-первых, адекватную модель таких изображений с параметрами, которые могли бы контролируемо изменяться, и, во-вторых, показатель эффективности, который мог бы изменяться в соответствии с характером решаемых задач исследования. Как указывают многие известные исследователи [1, 2], решение этих научных задач до настоящего времени остается актуальным.

Поскольку большинство известных алгоритмов по своему характеру являются эвристическими и «настраиваются» методом проб и ошибок, с использованием испытательных изображений (препаратов), оценить их эффективность весьма сложно.

Анализ литературы. В работе [1] отмечено, что существует относительно небольшое количество исследований по оценке эффективности детекторов перепада яркости и для количественной оценки методов контрастирования предложено использовать обобщенный показатель вида

$$R = \left(\frac{1}{I_N} \right) \sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1 + \alpha d_i^2}, \quad (1)$$

где $I_N = \max(I_I, I_A)$; I_I и I_A – число точек вдоль границы перепада яркости в идеальном и реальном контурных препаратах; α – масштабный множитель; d_i – расстояние между i -й точкой действительного перепада и линией, состоящей из точек идеального перепада, измеренное по нормали к этой линии.

К недостаткам данного критерия можно отнести то, что сложно назначить штрафы за соответствующий тип ошибки, а также то, что его

практическая пригодность проверяется путем субъективной оценки с использованием испытательных изображений.

Цель статьи. В статье предлагается интегральный показатель качества выделения контуров и границ изображений, обработанных различными методами контрастирования, позволяющий учесть такие наблюдаемые искажения и ошибки, как разрывы в контуре, сорные выбросы, смещение истинного положения перепада яркости и размытие (смаз) границы перепада.

Описание исследований. Интегральный показатель эффективности алгоритмов выделения контуров и границ, учитывающий влияние основных видов искажений, вычисляется по формуле

$$R = \left\{ \text{EXP} \left[-\alpha_1 \left(\frac{T-1}{H-1} \right)^{\beta_1} - \alpha_2 \left(\frac{N_{\text{РАЗР}}}{N} \right)^{\beta_2} - \alpha_3 \left(\frac{N_{\text{СВ}}}{N} \right)^{\beta_3} - \alpha_4 \left(\frac{S}{H} \right)^{\beta_4} \right] \right\}, \quad (1)$$

где N – истинное число точек вдоль линии границы (перепада яркости); $N_{\text{РАЗР}}$ – число точек разрывов в выделенной обработчиком линии границы; $N_{\text{СВ}}$ – число сорных выбросов (СВ), т.е. точек, не принадлежащих контуру, но ложно принятых за контур; T – средняя толщина выделенного перепада, измеренная по нормали к границе; S – среднеквадратическое отклонение (СКО) выделенной и истинной границы; H – ширина области допустимых значений отклонения выделенной границы от истинного положения; α_1, β_1 – коэффициенты влияния толщины контура на оценку качества выделения границы; α_2, β_2 – коэффициенты влияния разрывов на оценку качества выделения границы; α_3, β_3 – коэффициенты влияния сорных выбросов на оценку качества выделения границы; α_4, β_4 – коэффициенты влияния СКО на оценку качества выделения границы.

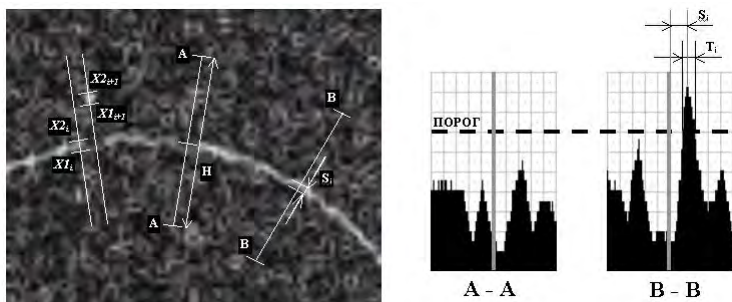


Рис. 1. Характерные сечения и диаграммы яркостей в этих сечениях, иллюстрирующие вычисления значений погрешностей трех типов: разрыва, смаза и отклонения

Рис. 1 иллюстрирует получение оценок T , $N_{\text{РАЗР}}$, $N_{\text{СВ}}$ и S , необходимых для вычисления значения R . В сечении А – А наблюдается разрыв в

выделенной обработчиком линии границы, при котором в области истинного значения положения границы яркость изображения находится ниже установленного порога. В этом сечении толщина и смещение границы не измеряются.

В сечении В – В разрыв отсутствует и измеряется смещение границы S_i относительно ее истинного положения, а также толщина границы T_i . Все параметры измеряются в пикселях.

Сорным выбросом в сечении, влияющим на качество распознавания границы, считается точка в окрестности H контура, для которой выполняются условия: 1) яркость точки находится выше порога и превышает яркость других точек в данном сечении; 2) точка не соприкасается с аналогичной точкой в предыдущем $i - 1$ и/или последующем $i + 1$ сечениях. В сечении с сорным выбросом не измеряются смещение и толщина границы, как и в случае разрыва.

Очевидно, что при изменении порога яркости будут изменяться и значения рассмотренных выше показателей. Для различных изображений существует оптимальный порог яркости, который максимизирует значение показателя R , что предполагает необходимость включения в алгоритм вычислений подстановку всех допустимых значений порога яркости и нахождения R_{\max} на множестве этих значений. Таким образом, формула (2) преобразуется к виду

$$R = \max_{\Pi_j \in 0,255} \left\{ \text{EXP} \left[-\alpha_1 \left(\frac{T-1}{H-1} \right)^{\beta_1} - \alpha_2 \left(\frac{N_{\text{РАЗР}}}{N} \right)^{\beta_2} - \alpha_3 \left(\frac{N_{\text{СВ}}}{N} \right)^{\beta_3} - \alpha_4 \left(\frac{S}{H} \right)^{\beta_4} \right] \right\}, \quad (2)$$

где Π_j – порог яркости, определенный на множестве допустимых значений.

Очевидно, что при $N_{\text{РАЗР}} = 0$, $T = 1$, $N_{\text{СВ}} = 0$ и $S = 0$ из выражения (2) следует $R = 1$. Любое отклонение указанных параметров от указанных приводит к уменьшению значения R .

Для расчета коэффициентов α_i и β_i , определяющих выражение (2), предлагается следующая методика:

1. Устанавливают соответствие между значениями параметра R и нормированными значениями толщины границы, количеством разрывов, количеством шумовых выбросов и СКО, которые в дальнейшем будем называть уровнями значимости соответствующих параметров. Устанавливаемые соответствия определяются особенностями решаемых задач и влияют на результат оценки качества оконтуривания. Указанные соответствия представлены в виде табл. 1.

2. Очевидно, что изменения значения R при увеличении параметра значимости (A_i , B_i , C_i , D_i) должны монотонно уменьшаться. При нулевых значениях параметров α_i и β_i получаем $R(0, \dots, 0) = 1$. Зависимость

$R(A_i, B_i, C_i, D_i)$ должна соответствовать устанавливаемым оценкам качества R_A, R_B, R_C, R_D как минимум на двух уровнях качества. Этим условиям соответствует функциональная зависимость вида

$$R_i = \text{EXP}\left(-\alpha \cdot x_i^\beta\right), \quad (3)$$

которая в качестве элемента входит в выражения (2) и (3).

Таблица 1

Соответствие между качественной и количественной оценкой результатов оконтуривания и относительными параметрами границы

Оценка	R	Толщина	Разрывы	СВ	СКО
		$(\Gamma - 1)/(H - 1)$	$N_{\text{РАЗР}}/N$	$N_{\text{СВ}}/H$	S/H
ОТЛИЧНО	R_A	A_1	A_2	A_3	A_4
ХОРОШО	R_B	B_1	B_2	B_3	B_4
УДОВЛЕТВ.	R_C	C_1	C_2	C_3	C_4
НЕУД.	R_D	D_1	D_2	D_3	D_4

На основании такого представления и значений табл. 1 для пары параметров значимости A_i и C_i (или B_i и D_i), используя систему уравнений

$$\begin{cases} R_{A_i} = \text{EXP}\left(-\alpha \cdot A_i^\beta\right); \\ R_{C_i} = \text{EXP}\left(-\alpha \cdot C_i^\beta\right), \end{cases} \quad (4)$$

вычисляют значения аппроксимирующих коэффициентов

$$\beta_i = \frac{\ln[\ln R_{C_i} / \ln R_{A_i}]}{\ln[C_i / A_i]} = \frac{\ln\{\ln(R_{C_i})\} - \ln\{\ln(R_{A_i})\}}{\ln(C_i) - \ln(A_i)}; \quad (5)$$

$$\alpha_i = -\ln R_{A_i} / A_i^{\beta_i}. \quad (6)$$

Для ультразвуковых изображений сердечных структур могут быть рекомендованы значения относительных показателей, соответствующие различным уровням качества (табл. 1), которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендации по выбору значений показателей качества

Оценка	R	Толщина		Разрывы		СВ		СКО	
		$(\Gamma - 1)/(H - 1)$		$N_{\text{РАЗР}}/N$		$N_{\text{СВ}}/H$		S/H	
		пт	%	пт	%	пт	%	пт	%
ОТЛ.	0,98	2	3	14	3	10	2	0,93	3
ХОР.	0,80	3	6	43	9	19	4	1,55	5
УД.	0,50	5	14	86	18	38	8	3,1	10
НЕУД.	0,20	10	30	139	29	76	16	5,27	17

Этим значениям соответствуют вычисленные по формулам (4) – (6) и представленные в табл. 3 коэффициенты α_i , β_i .

Для объективной оценки эффективности различных методов выделения контуров и границ целесообразно использовать в качестве исследуемого объекта модель изображения с заданными параметрами. В качестве модели предлагается использовать зашумленное и размытое растровое изображение круга. Изменяющимися параметрами модели будут служить высота перепада h , определяемая яркостью круга, и среднеквадратическое отклонение гауссовского шума σ . Они определяют отношение сигнал/шум h^2/σ^2 . Остальные параметры, такие как радиус круга r , размер квадратного растра d , среднее значение гауссовского шума m и степень размытия границы – являются неизменными.

Таблица 3

Результаты вычислений параметров для обобщенного показателя эффективности выделения контуров и границ в ультразвуковом изображении

α, β	i			
	1	2	3	4
α_i	2,295	1,973	2,550	2,936
β_i	63,171	20,431	434,753	598,813

На рис. 2. представлены тестовые изображения, характеризующиеся различными значениями сигнал/шум.

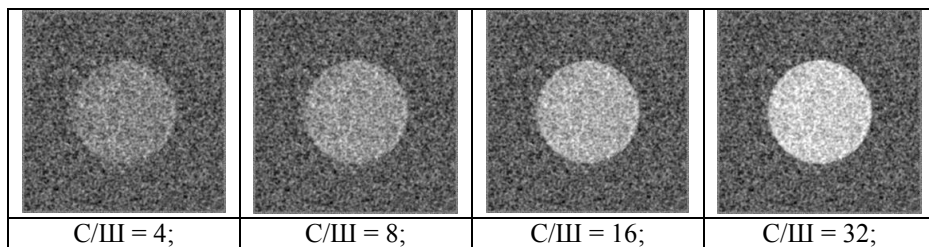
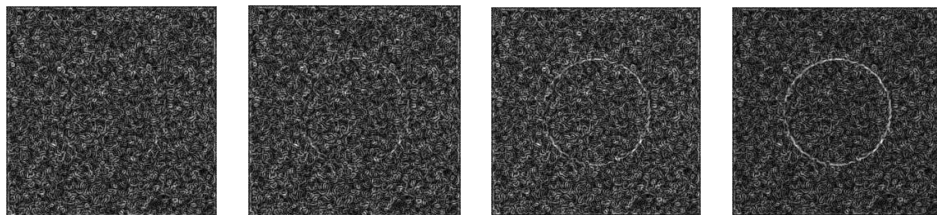


Рис. 2. Тестовые изображения

Для выделения контуров этих изображений применялись широко используемые методы Собела и Кирша [1 – 5], а также метод, основанный на вычислении полярных разностей [6]. Результаты оценки эффективности по предложенному интегральному показателю (2) представлены в табл. 4, а соответствующие изображения контуров – на рис. 3.

Зависимость значения показателя качества оконтуривания тестовых изображений от отношения сигнал/шум представлена на рис. 4.



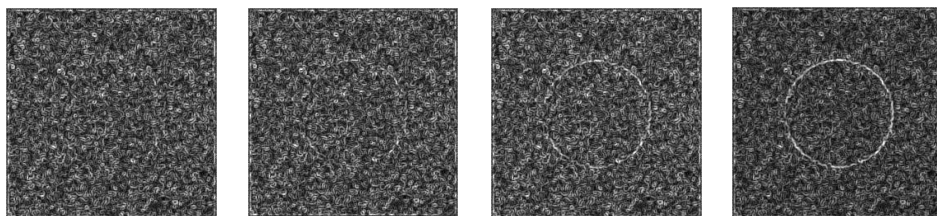
C/Ш = 4;

C/Ш = 8;

C/Ш = 16;

C/Ш = 32;

а – Обработка с использованием метода Собела



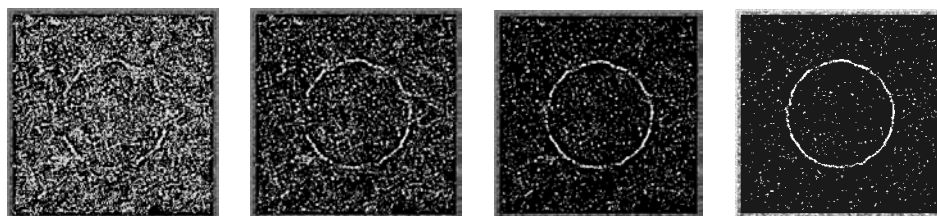
C/Ш = 4;

C/Ш = 8;

C/Ш = 16;

C/Ш = 32;

б – Обработка с использованием метода Кирша



C/Ш = 4;

C/Ш = 8;

C/Ш = 16;

C/Ш = 32;

в – Обработка с использованием вычисления полярных разностей

Рис. 3. Результаты выделения контуров тестовых изображений

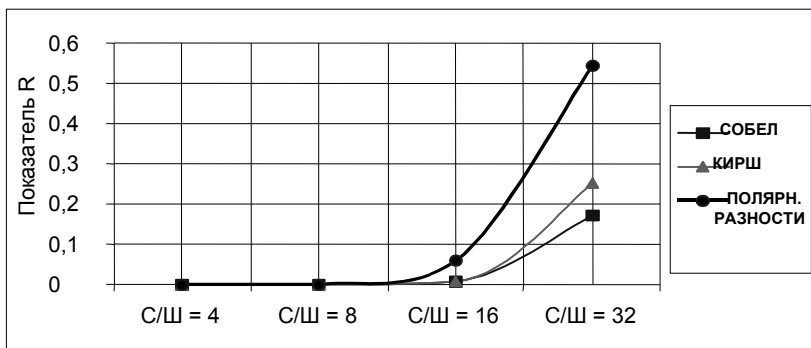


Рис. 4. Зависимость $R(h)$ для известных методов выделения контуров

Результаты оценки качества выделения контуров
тестовых изображений известными методами

Метод	Значение R			
	C/Ш = 4	C/Ш = 8	C/Ш = 16	C/Ш = 32
Собела	0	0	0,0067337899	0,173112778
Кирша	0	0	0,0072625265	0,253917963
Вычисление полярных разностей	0,0000283	0,001471608	0,059669214	0,5453461

Выводы. Разработанный метод позволяет не только качественно, но и количественно сравнивать различные методы выделения контуров и границ изображений. Из приведенных выше данных можно сделать выводы о соответствии результатов количественных оценок и субъективных впечатлений, что подтверждает практическую пригодность предложенного интегрального показателя. По-прежнему актуальным остается поиск новых методов выделения контуров и границ на сильно зашумленных и размытых изображениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
2. Ярославский Л.П. *Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику.* – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.
3. Ярославский Л.П. *Введение в цифровую обработку изображений.* – М.: Сов. радио, 1979. – 312 с.
4. *Обработка изображений и цифровая фильтрация / Под. ред. Т. Хуанга.* – М.: Мир, 1979. – 320 с.
5. Бондарев В.Н., Трёстер Г., Чернега В.С. *Цифровая обработка сигналов: методы и средства. Учебн. пособие для ВУЗов. 2-е изд.* – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
6. Харченко А.В. *Вторичная обработка ультразвуковых изображений // Системы обробки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 2(18). – С. 269 – 271.

Поступила 19.04.2004

МАЛЮК Виктор Григорьевич, к.т.н., доцент кафедры биомедицинских электронных устройств и систем ХНУРЭ. В 1976 году окончил ХИРЭ. Область научных интересов – компьютерное моделирование в биологии и медицине, обработка биомедицинской информации.

ТЕЙШЕЙРА Марио, аспирант. В 1990 году окончил Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина. Область научных интересов – новые принципы диагностики в медицине.

ХАРЧЕНКО Алексей Викторович, к.т.н., инженер Института общей и неотложной хирургии АМН Украины. В 2001 году окончил НАУ «ХАИ». Область научных интересов – вторичная обработка ультразвуковых изображений и программно-аппаратные методы выделения признаков сердечно-сосудистых заболеваний. E-mail: writeme@bigmir.net.