

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бегун П.И., Шукейло Ю.А.* Биомеханика: Уч. для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 463 с.
2. *Лебеденко И.С., Новоселова Е.С., Ефимцева Ю.А., Ракитянская А.С.* Математическая модель насосной функции сердца/ Биотехносфера. – №3. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 24-31.
3. *Подчуфаров Б.М.* Тепломеханика: Уч. пособие. – Тула: ГПИ, 1983. – 100 с.

**Лебеденко Игорь Сергеевич**

Тульский государственный университет.  
E-mail: tsk@tsu.tula.ru.  
300600, г. Тула, пр. Ленина, 92, тел.: (4872)350552.  
Доцент, к.т.н.

**Lebedenko Igor Sergeevich**

Tula State University.  
E-mail: tsk@tsu.tula.ru.  
92, Lenin avenue, Tula, 300600, Russia, Phone: (4872)350552.  
Assistant professor, Cand. Eng. Sc.

**Новоселова Елена Сергеевна**

Тульский государственный университет.  
E-mail: tsk@tsu.tula.ru.  
300600, г. Тула, пр. Ленина, 92, тел.: (4872)350552.  
Доцент, к.т.н.

**Novoselova Elena Sergeevna**

Tula State University.  
E-mail: tsk@tsu.tula.ru.  
92, Lenin avenue, Tula, 300600, Russia, Phone: (4872)350552.  
Assistant professor, Cand. Eng. Sc.

УДК 621.396.1.001.24, 681.323:621.391

**И.В. Разин**

**О МОДЕЛЯХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ ДЛЯ  
ПОДЧЕРКИВАНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЕРЕПАДОВ ЯРКОСТИ  
ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*В работе приведена методика синтеза дифференциальных операторов и локализации перепада яркости изображения.*

*Модель перепада; дифференциальный оператор; гладкая функция; среднеквадратическая частота.*

**I.V. Razin**

**ABOUT MODELS OF DIFFERENTIATION OPERATORS FOR  
ACCENTUATING AND LOCALIZATION OF DIFFERENCES OF BRIGHTNESS  
OF THE IMAGE**

*In the work are given the methods of synthesis of differentiation operators and localization of difference of brightness of the image.*

*Model of the brightness image; differentiation operator; continuously differentiable function; standard deviation of the frequency.*

Традиционно вопрос подчеркивания перепадов решается с использованием известных дискретных дифференциальных операторов Собела и Превитта размером  $3 \times 3$  элемента, а также операторов большего размера. Выбор последних обусловлен желанием проанализировать большую, чем  $3 \times 3$  элемента, пространственную область цифрового изображения. Основными недостатками этих операторов являются разрывность функций, их реализующих, и неинвариантность к преобразованию вращения. В данной работе приведем методику синтеза новых дифференциальных операторов на основе гладких функций. Очевиден интерес, проявляемый к дифференциально-сглаживающим операторам, поскольку именно с их помощью можно подчеркивать (детектировать) наиболее информативные участки изображения, каковыми и являются перепады яркости. Операторы, синтезированные на основе гладких функций, представляются серьезной альтернативой классическим операторам, поскольку позволяют устранить указанные их недостатки [1]. Приведем выражения для весовых функций операторов, полученных дифференцированием гладких функций Лоренца, Гаусса, Моффата и Баттерворта:

$$L(k) = \frac{-4k^3}{(\sigma_L)^4 \left(1 + k^4 / (\sigma_L)^4\right)^2}; \quad G(k) = \left(-k / (\sigma_G)^2\right) \exp\left(-k / 2(\sigma_G)^2\right);$$

$$M(k) = \frac{-4k}{(\sigma_M)^2 \left(1 + k^2 / (\sigma_M)^2\right)^3}; \quad B(k) = \frac{-2k}{(\sigma_B)^2 \left(1 + k^2 / (\sigma_B)^2\right)^2}.$$

Для обеспечения равенства единице по модулю суммы значений как положительных, так и отрицательных весовых коэффициентов операторов, значения  $B(k)$ ,  $M(k)$ ,  $G(k)$ ,  $V(k)$  были нормированы на сумму положительных значений весовых коэффициентов. Совокупность нормированных значений  $h_L^{(1)}(k) = L(k) / \sum_{-6}^0 L(k)$ ,  $h_G^{(1)}(k) = G(k) / \sum_{-6}^0 G(k)$ ,  $h_M^{(1)}(k) = M(k) / \sum_{-6}^0 M(k)$  и  $h_B^{(1)}(k) = B(k) / \sum_{-6}^0 B(k)$  для целочисленных значений аргумента  $k$  определяют соответственно весовые коэффициенты дифференциально-сглаживающих операторов Лоренца, Гаусса, Моффата и Баттерворта. Значения параметров  $\sigma_G = 1$ ;  $\sigma_L = \sqrt[4]{5/3} = 1.136$ ;  $\sigma_M = \sqrt{5} = 2.236$ ;  $\sigma_B = \sqrt{3} = 1.732$  определяют экстремальные значения весовых коэффициентов операторов при значении аргумента  $|k| = 1$ . Задание указанных значений  $\sigma_*$  обеспечивает высокую чувствительность дифференциальных операторов к малоразмерным и контрастным объектам изображения. Удвоенные значения параметров, напротив, обеспечивают экстремальные значения весовых коэффициентов операторов при значении аргумента  $|k| = 2$  и, тем самым – повышенную чувствительность операторов к менее контрастным объектам изображения с протяженными перепадами яркости. Графики весовых коэффициентов указанных операторов для одинарных  $h_*^1(k)$  и удвоенных  $h_*^2(k)$  значений параметров  $\sigma_*$  приведены соответственно на рис. 1,а и 1,б.

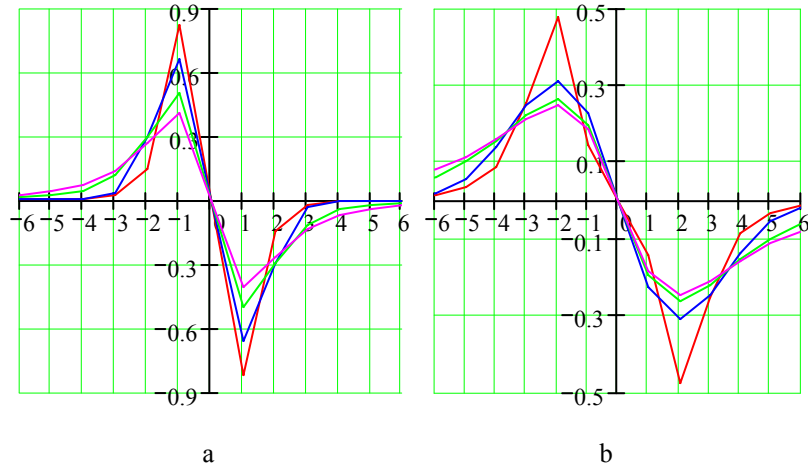


Рис. 1. Графики весовых коэффициентов операторов

Графики операторов ранжированы по мере уменьшения экстремума в последовательности, приведенной выше. Анализ их позволяет отметить различное асимптотическое стремление к нулю весовых коэффициентов операторов при удалении от нулевого значения аргумента. Поэтому выбор того или иного оператора и задание соответствующего параметра  $\sigma_*$  производится после предварительного анализа яркостной структуры изображения и объясняется желанием в большей или меньшей степени учесть тот весовой вклад, который вносится в его отклик удаленными от центра оператора элементами изображения. Более того, желание обеспечить высокую чувствительность при подчеркивании как резких, так и плавных перепадов яркости привело к синтезу комбинированных дифференциально-сглаживающих операторов, весовая функция которых определяется следующим выражением:

$$h_{**}(k) = \alpha h_*^1(k) + (1 - \alpha) h_*^2(k), \quad (1)$$

где  $0 \leq \alpha \leq 1$  – коэффициент, учитывающий весовой вклад в  $h_{**}(k)$  операторов  $h_*^1(k)$  или  $h_*^2(k)$ ; верхний цифровой индекс весовой функции указывает на задание указанного выше одинарного либо удвоенного значения параметра  $\sigma_*$ ; а нижний индекс определяет конкретную гладкую функцию, на основе которой синтезирована весовая функция оператора.

Выражение (1) позволяет синтезировать разнообразную гамму комбинированных дифференциально-сглаживающих операторов. В качестве примера на рис. 2 и рис. 3 приведены весовые функции операторов, определяемые соответственно выражениями:

$$\begin{aligned} h_{MB}(k) &= \alpha h_M^1(k) + (1 - \alpha) h_B^2(k), \\ h_{LG}(k) &= \alpha h_L^1(k) + (1 - \alpha) h_G^2(k). \end{aligned} \quad (2)$$

Для весовых функций операторов на рис. 2,а и 3,а значение  $\alpha = 0.1$ , на рис. 2,б и 3,б –  $\alpha = 0.5$ , на рис. 2,с, и 3,с –  $\alpha = 0.9$ .

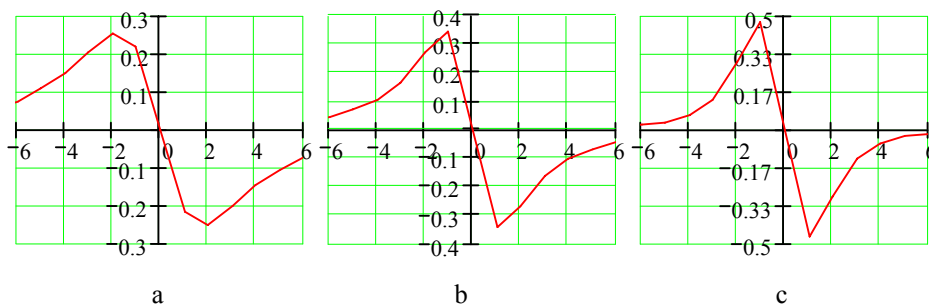


Рис. 2. Весовые функции дифференциальных операторов

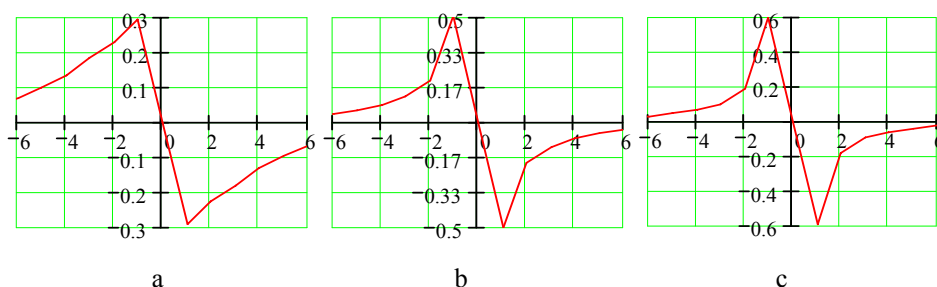


Рис. 3. Весовые функции дифференциальных операторов

Отклик  $g(n)$  дифференциально-сглаживающего оператора определяется сверткой входного воздействия  $F(n)$  с весовой функцией оператора  $h_{**}(k)$ :

$g(n) = F(n) \otimes h_{**}(k)$ , где  $\otimes$  – индекс, обозначающий операцию свертки.

В работе исследован отклик оператора (весовая функция его определена выражением (2)) на входное воздействие, моделирующее два последовательно следующих друг за другом пространственных перепада яркости. Поперечное сечение (профиль) перепадов можно определить терминами «трапециевидный» и «колоколообразный». Выбор в качестве модели перепадов одномерной функции  $F(n)$  не нарушает общности изложения, поскольку подобные сечения перепадов яркости можно получить в перпендикулярном произвольной ориентации перепада направлении, и обусловлен сходством их с реально встречающимися профилями. Функция  $F(n)$  входного воздействия представлена на рис. 4. Передний фронт изображенного на нем трапециевидного перепада имеет наклон, определяемый углом  $\theta = 45^\circ$  по отношению к горизонтали (разность амплитуд соседних элементов фронта составляет один уровень квантования). Видно, что отклик  $g(n)$  оператора, представленный на рис. 5, в значительной степени «затягивает» фронты перепадов, что объясняется конечной протяженностью весовой функции оператора. Этот эффект затрудняет локализацию (определение местоположения) фронтов перепадов. Задача локализации становится особенно трудноразрешимой в случае протяженных по длительности фронтов малоcontrastных перепадов. Тот же эффект «затягивания» фронтов, но в меньшей степени, можно наблюдать и у отклика оператора (рис. 8) на воздействие, представленное на графике рис. 7. Это пример высококонтрастного перепада, абсолютная его величина практически равна динамическому диапазону сигнала – «крутизна» переднего фронта перепада составила

угол  $\theta = 89^\circ$  (разность амплитуд соседних элементов фронта превышает 57 уровней квантования).

Для решения задачи подчеркивания и локализации перепада одномерного сигнала в работе использована текущая оценка среднеквадратической частоты, определяемая выражением:  $\sqrt{\omega^2(n)} = \sqrt{g^2(n) / F_{\text{ц}}^2(n)}$ , где черта сверху – знак текущего локального усреднения,  $F_{\text{ц}}(n)$  – центрированный входной сигнал [2]. Полученная оценка среднеквадратической частоты подверглась далее степенному преобразованию с вписыванием результата преобразования в динамический диапазон сигнала. Результат представлен на рис. 6 и 9.

Для двумерного случая эффект затягивания перепада яркости проявляется в размытости и потере резкости контурного сигнала изображения и, как следствие, невозможности точной сегментации анализируемых его объектов. Предполагается использовать приведенную в данной работе методику и инвариантную к повороту оценку среднеквадратической частоты для успешного решения задачи подчеркивания и увеличения точности локализации перепадов яркости изображения.

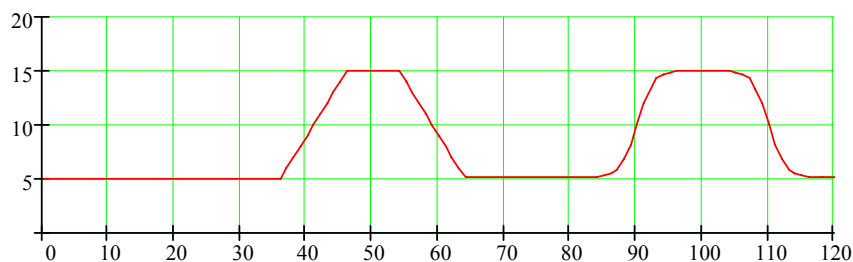


Рис. 4. Функция входного воздействия

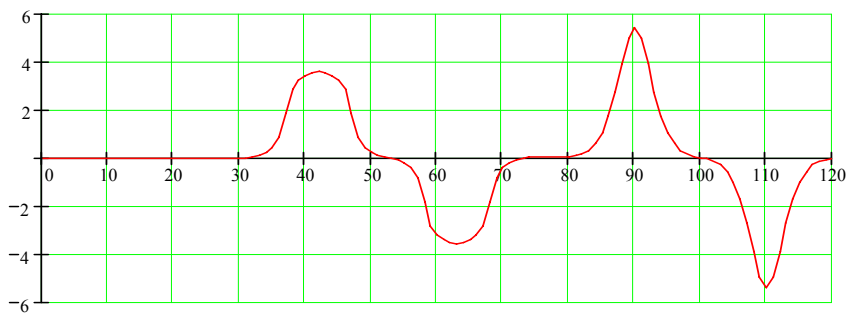


Рис. 5. Функция отклика

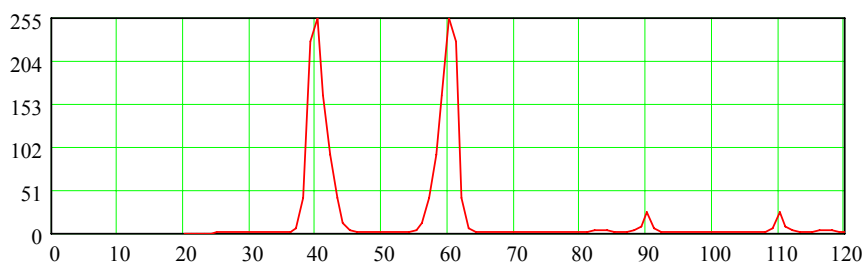


Рис. 6. Результат преобразования сигнала

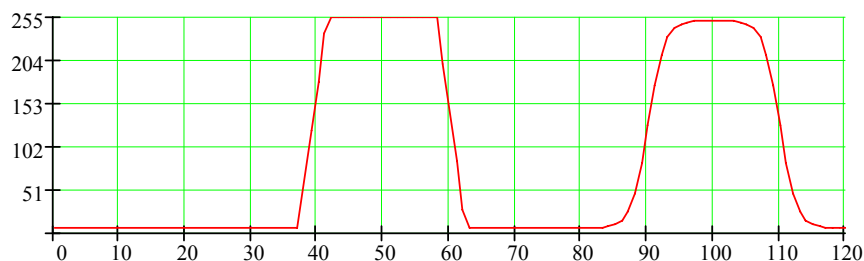


Рис. 7. Входное воздействие

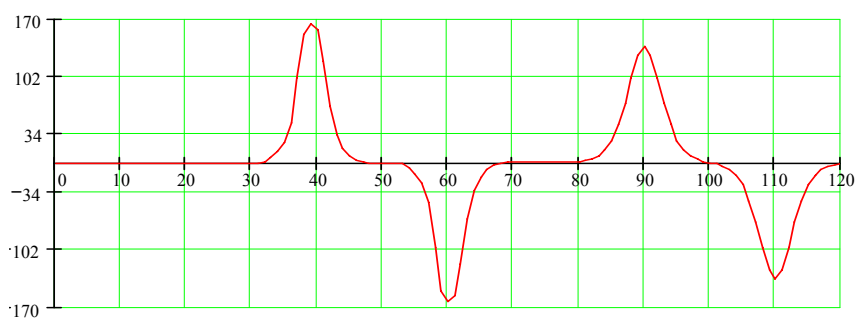


Рис. 8. Функция отклика оператора

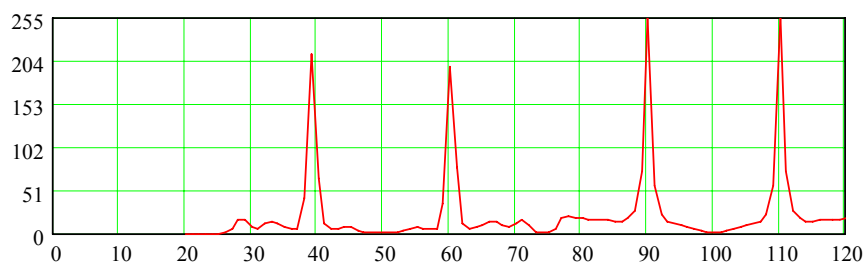


Рис. 9. Результат преобразования сигнала

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Разин И.В.* К вопросу синтеза двумерных адаптивных фильтров на основе гладких функций // Радиоэлектроника, Известия вузов России. – 2009. – № 3. – С. 35-48.
2. *Разин И.В.* Среднеквадратические частоты в задаче описания случайных сигналов и полей посредством нулей // Известия СПбГЭТУ, Сборник «Биотехнические системы в медицине и экологии». – Вып. 2. – 2006. – С. 59-69.

**Разин Игорь Вениаминович**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».  
E-mail: IVRazin@mail.eltech.ru.  
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (812)3464487.  
Зам. декана по научной работе, к.т.н.

**Razin Igor Veniaminovich**

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»  
E-mail: IVRazin@mail.eltech.ru.  
5, Professor Popov str., Saint Petersburg, 197376, Russia, Phone: (812)3464487.  
Vice-dean for science work, Cand. Eng. Sc.