

УДК 355.233.1.005

К.С. Смеляков, Е.М. Дроб

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

**МОДЕЛЬ И МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕЗКОСТИ ГРАНИЦ И ЛИНИЙ**

*В статье предлагаются модель и метод повышения резкости границ и линий на цифровом изображении, использование которых не требует нормировки яркостей снимка, что позволяет обеспечивать требуемый уровень эффективности повышения резкости цифрового изображения.*

**Ключевые слова:** эффективность, изображение, модель, метод, повышение резкости.

**Введение**

При решении многих прикладных задач, связанных с анализом цифровых изображений, интересующие нас объекты на снимке могут иметь невысокий уровень контраста по отношению к фону, на котором они расположены [1-3].

В таких условиях возникают проблемы с адекватным восприятием и обработкой изображений, а также с дешифрированием снимков в смысле не обнаружения слабоконтрастных объектов. При этом существенно возрастает трудоемкость дешифрирования слабоконтрастных изображений [2, 4].

Применение классических моделей [2, 5-7], предназначенных для повышения резкости пропорционально уровню контрастности, приводит к тому, что выходные значения яркости  $f'$  пикселей снимка после повышения резкости могут принимать значения на интервале  $[a', b']$  большем стандартного интервала значений яркости  $[0, 255]$ .

В такой ситуации необходимо производить нормировку яркостей  $f'$  таким образом, чтобы нормированные яркости  $\|f'\|$  принадлежали стандартному интервалу значений яркости  $[0, 255]$ .

Выполнение такой нормировки часто приводит к потере фотореалистичности снимка. Все дело в том, что при повышении резкости часто проявляются эффекты: а) значимой асимметрии границ интервала  $[a', b']$  относительно границ интервала  $[0, 255]$ , б) избыточного роста яркости  $f'$  высококонтрастных пикселей границ и линий.

В таких условиях после нормировки однородные распределения яркости внутренности и границ низко контрастных изображений неестественно сжимаются: не редко широкий информативный диапазон яркости, который на исходном изображении содержит подавляющее число яркостей пикселей объектов и фона, сжимается в несколько раз. В итоге, высококонтрастные объекты становятся избыточно контрастными, а низкоконтрастные изображения остаются не контрастными. При этом границы контрастных изображений представляются бе-

лыми или черными точками. Кроме того, из-за асимметрии границ интервала  $[a', b']$  относительно границ интервала  $[0, 255]$ , происходит неестественное затемнение или осветление изображения.

В таких условиях актуальным является решение задачи построения модели и метода повышения резкости не требующего нормировки яркостей  $f'$  выходного изображения.

**1. Модель повышения резкости**

Для решения поставленной задачи предлагается повышать резкость лишь пикселей границ объектов (линий) на изображении, идентифицированных по заданным критериям [2, 8-10], на основе применения следующей базовой модели

$$f' = \begin{cases} \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor, & \text{если } 0 \leq \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor \leq 255, \\ 0, & \text{если } \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor < 0, \\ 255, & \text{если } \lfloor f + sn \cdot \Delta f \rfloor > 255, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\lfloor \cdot \rfloor$  – операция округления до целого.

Такая модель предложена для того, чтобы не повышать контраст внутренности, и для того, чтобы новые значения яркости  $f'$  пикселей границ и линий не выходили за пределы стандартного диапазона яркости  $[0, \dots, 255]$ .

Это сделано для того, чтобы не нормировать выходные значения яркости  $f'$  и не ухудшать свойств фотореалистичности снимка.

Знаковая функция  $sn$  в модели (1) служит для адекватного увеличения (уменьшения) уровня яркости светлого (темного) пикселя на темном (светлом) фоне и определяется так

$$sn = \begin{cases} u_0 / |u_0|, & \text{если } |u_0| \geq |u_n|, \\ u_n / |u_n|, & \text{иначе,} \end{cases} \quad c \neq 0, \quad (2)$$

где величины контрастности  $u$  и  $c$  найдены следующим образом:

1) строится упорядоченное по возрастанию распределение контрастности  $u_i$  пикселя  $(\xi, \eta)$

$$\{u_i\}_{i=0, \dots, n}, \quad u_0 \leq u_1 \leq \dots \leq u_n,$$

$$u_i = f(\xi, \eta) - f_i, \quad f(\xi, \eta) \neq f_i,$$

где  $f(\xi, \eta)$  – яркость рассматриваемого пикселя  $(\xi, \eta)$  снимка,  $f_i$  – яркости пикселей  $\varepsilon$ -окрестности пикселя  $(\xi, \eta)$ , которые определены положением маски оператора контрастирования с центром, совмещенным с пикселем  $(\xi, \eta)$  [8];

2) находится контрастность пикселя  $(\xi, \eta)$

$$c = \max\{|u_0|, |u_n|\}.$$

Абсолютная величина  $\Delta f$  изменения яркости  $f$  в модели (1) определяется так

$$\Delta f = y(\arg(c); k, p) = k \cdot (\arg(c)/255)^p \cdot \arg(c), \quad (3)$$

где  $k$  – интегральный коэффициент усиления контрастности, а  $p$  – показатель степени функции контрастирования.

За счет вариации параметров  $(k, p)$  модель (3) позволяет довольно гибко настраиваться на особенности прикладной задачи:

а) выбирать требуемый средний уровень усиления контраста снимка путем изменения значения интегрального коэффициента усиления  $k$ , и

б) не усиливать незначимые перепады яркости путем увеличения показателя степени  $p$ , или напро-

тив – усилить и значимые и незначимые перепады яркости путем уменьшения показателя степени  $p$ .

При этом аргумент  $\arg(c)$  в модели (3) определяется так

$$\arg(c) = \begin{cases} c, & \text{если } c < T_c, \\ T_c - (c - T_c) \cdot \frac{T_c}{255 - T_c}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (4)$$

где  $c$  – контрастность пикселя,  $T_c$  – порог, определяющий такую величину контрастности  $c^* = T_c$ , после которой прирост абсолютной величины  $\Delta f$  яркости  $f$  будет лишь уменьшаться.

Такое определение аргумента  $\arg(c)$  функции  $\Delta f = y(\arg(c); k, p)$  необходимо для того, чтобы не увеличивать итак большие перепады яркости для недопущения чрезмерного повышения контрастности и минимизации негативного эффекта появления белых и черных точек на границах и линиях.

Модели формирования абсолютной величины  $\Delta f$  увеличения (уменьшения) яркости  $f$  при реализации различных правил повышения резкости приведены на рис. 1, где  $T_c = 76.5$ ,  $k = 1$ ,  $p = 0.5$ .

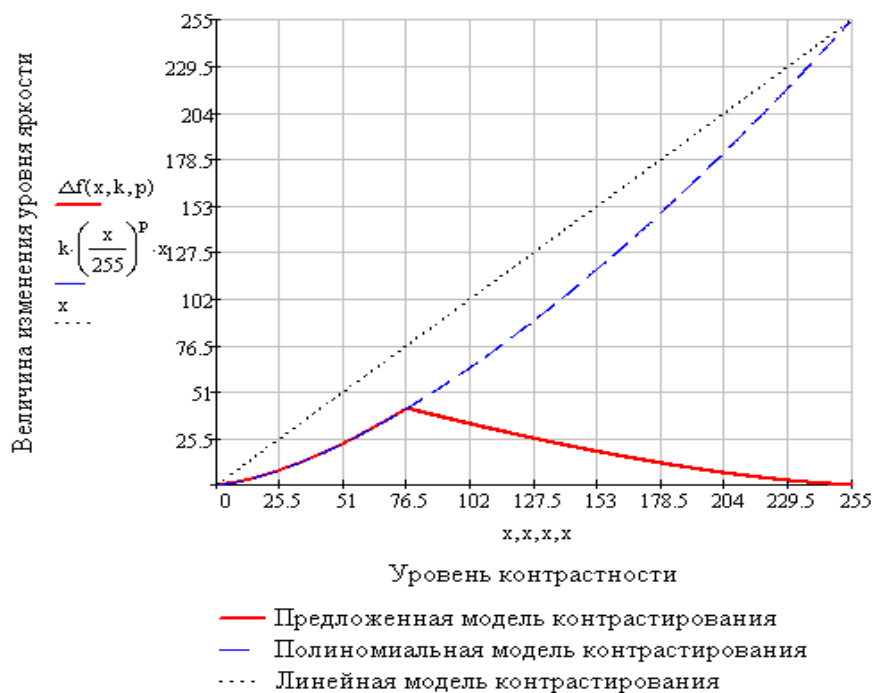


Рис. 1. Различные модели формирования абсолютной величины  $\Delta f$  яркости  $f$

## 2. Метод повышения резкости

Для реализации модели контрастирования (1), в условиях предварительной дискриминации пикселей границ и линий предлагается метод повышения резкости (is-метод), основные шаги которого состоят в следующем.

Шаг 1. Построение табличной функции  $\Delta f = \Delta f(c)$ . Поскольку контрастность  $c$  принимает значения на множестве не отрицательных чисел на интервале  $[0, \dots, 255]$ , после того, как определены все параметры моделей построим табличную функцию  $\Delta f = \Delta f(c)$ , где  $c = 0, \dots, 255$ .

Шаг 2. Повышение резкости. В ходе сканирования изображения для каждого пикселя границы и линии:

а) в ходе оценивания контрастностей  $u_i$  найдем минимальную  $u_0$  и максимальную  $u_n$  контрастности пикселя по маске в окрестности;

б) найдем величину контрастности  $s$  пикселя и знак  $sp$  ;

в) по параметрам  $s$  и  $sp$  с использованием таблично заданной функции  $\Delta f = \Delta f(c)$  находим новую яркость  $f'$  по правилу (1).

Шаг 3. Конец.

В связи с использованием табличной функции  $\Delta f = \Delta f(c)$ , основная вычислительная нагрузка предложенного is-метод падает на реализацию 2-го шага, а именно – на вычисление контрастностей  $u_i$  и нахождение величин  $u_0$  и  $u_n$  для пикселей снимка.

Таким образом, по порядку величины трудоемкость повышения резкости одного пикселя границы (линии) с применением is-метода составляет три операции сравнения.

## Выводы

Таким образом, при трудоемкости, равной по порядку величины трудоемкости широко используемых аналогов, основанных на использовании операторов дифференцирования, предложенный is-метод, позволяет не допустить возникновения проблем:

а) асимметричной градиентной коррекции и, неестественного затемнения или осветления изображения;

б) сжатия информативного диапазона яркости снимка с потерей фотореалистичности объектов и резкости низкоконтрастных объектов и линий;

в) чрезмерного увеличения резкости контрастных границ и линий, приводящего к их представлению белыми или черными точками.

При этом за счет настройки параметров моделей предложенный метод позволяет повышать резкость с учетом требований задачи и свойств обрабатываемого снимка.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что пиксели объекта, которые вдаются в фон, или наоборот, не редко контрастируются более значимо, чем смежные им граничные пиксели. В такой ситуации невозможно полностью исключить эффект появления белых и черных точек на границах высококонтрастных изрезанных границ объектов лишь применением предложенного is-метода.

Для минимизации эффекта черных и белых точек целесообразно после применения is-метода на множестве яркостей пикселей границ и линий применить заданный сглаживающий фильтр [2].

## Список литературы

1. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Sonka M. Image processing, analysis and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
4. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
5. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др. – Н-ск: НГТУ, 2002. – 351 с.
6. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
7. Журавлев Ю. И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М.: Фазис, 2005. – 159 с.
8. Смеляков К. С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 / Смеляков Кирилл Сергеевич. – Х., 2005. – 162 с.
9. Смеляков К.С. Анализ эффективности фильтров резкости изображений / К.С. Смеляков, Е.М. Дроб // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – № 8 (124). – С. 137-143.
10. Смеляков К.С. Повышение резкости цифрового изображения за счет фильтрации пикселей тени объекта / К.С. Смеляков, С.И. Хмелевский, Е.М. Дроб, О.В. Водолажко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – № 9 (125). – С. 149-156.

Поступила в редколлегию 2.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. И.В. Рубан, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ ГРАНИЦЬ І ЛІНІЙ

К.С. Смеляков, Є.М. Дроб

У статті пропонуються модель та метод підвищення різкості границь і ліній на цифровому зображенні, використання яких не вимагає нормування яскравостей знімка, що дозволяє забезпечувати потрібний рівень ефективності підвищення різкості цифрового зображення.

**Ключові слова:** ефективність, зображення, модель, метод, підвищення різкості.

## MODEL AND METHOD OF EDGE AND LINE SHARPENING

K.S. Smelyakov, Ye.M. Drob

A model and method of edge and line sharpening on the digital imaging it is proposes, the use of which does not require normalization of the brightness of the picture, and allowing us to provide the required level of digital images sharpening efficiency.

**Keywords:** efficiency, image, model, method, sharpening.