

УДК 355.233.1.005

К.С. Смеляков, Е.М. Дроб, О.В. Водолажко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ГРАДАЦИОННОЙ КОРРЕКЦИИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Для обеспечения эффективности предварительной обработки цифрового изображения в статье предлагается такое семейство унифицированных моделей и методов градационной коррекции яркости изображения, которое позволяет одновременно выполнять тоновую коррекцию, повышение резкости и нормировку, причем для произвольных диапазонов яркости исходного и выходного изображений.

**Ключевые слова:** модель, метод, эффективность, градационная коррекция, резкость, изображение.

### Введение

В настоящее время модели и методы градационной коррекции используются для решения ряда важнейших задач предварительной обработки цифрового изображения [1 – 5].

Модели и методы градационной коррекции применяются для целей: тоновой коррекции снимка с целью его осветления, или затемнения; нормировки яркостей снимка, например, после применения

фильтров резкости, основанных на использовании производных [2]; повышения резкости объектов и мелких деталей на снимке [2, 6, 7].

Для этих целей чаще всего используют стандартные модели: полиномиальную, синусоидальную, экспоненциальную и логарифмическую, параметры которых подобраны так, чтобы значения яркости  $x$  снимка, определяемые в диапазоне  $[0, 255]$ , преобразовывались на точно такой же диапазон значений яркости (рис. 1).

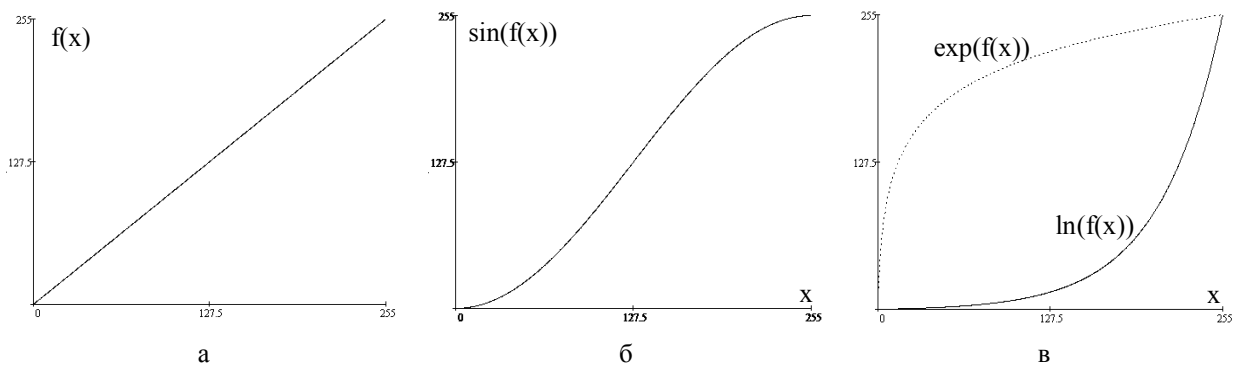


Рис. 1. Функции градационной коррекции изображения:

а – полином первой степени ; б – синусоида ; в – экспоненциальная и логарифмическая функции

При использовании таких моделей часто не принимается во внимание необходимость одновременного проведения тоновой коррекции, повышения резкости и нормировки яркости снимка.

В такой ситуации для обеспечения эффективности предварительной обработки изображения актуальным является решение задачи построения такого семейства унифицированных моделей и методов градационной коррекции, которое позволяет одновременно выполнять тоновую коррекцию, повышение резкости и нормировку яркости снимка.

Для решения этой задачи модели градационной коррекции далее в работе будут разрабатываться для произвольных диапазонов значений яркости снимка на основе рассмотрения практически значимых стандартных моделей перечис-

ленных выше классов:

$$p(x) = x ; \quad (1)$$

$$s(x) = \frac{255}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{255} \cdot x - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{255}{2} ; \quad (2)$$

$$\begin{cases} ef(x) = e^{k \cdot x} - 1, \\ lf(x) = k^{-1} \cdot \ln(x + 1), \\ k = \frac{8 \cdot \ln(2)}{255}, \end{cases} \quad (3)$$

преобразующих яркости  $x$  снимка, с диапазона  $[0, 255]$  на такой же диапазон значений яркости.

Поскольку все методы градационной коррекции чувствительны к шуму будем полагать, что шум изображения предварительно сглажен [2, 8].

## Основной раздел

### 1. Построение базовой модели градационной коррекции изображения

Для возможности одновременного повышения резкости, тоновой коррекции и нормировки яркости в выделенном диапазоне значений  $[a, b]$ ,  $a < b$ , предлагается использовать следующие базовые функции градационной коррекции

$$p(x) = k \cdot (x - a); \quad k = \frac{255}{b - a}; \quad (4)$$

$$s(x) = \frac{255}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{b - a} \cdot x - \frac{\pi}{2} - \frac{a \cdot \pi}{b - a}\right) + \frac{255}{2}; \quad (5)$$

$$t(x) = p(x) + (p(x) - s(x)), \quad (6)$$

преобразующие яркости снимка с диапазона  $[a, b]$  на диапазон  $[0, 255]$ , как это показано на рис. 2, а.

Все три функции (4) – (6) считаются базовыми, поскольку они предназначены для плавной градационной коррекции распределения яркости снимка, что требуется при решении большинства прикладных задач. При этом:

– функция  $p(x)$  позволяет пропорционально преобразовывать яркости пикселей снимка;

– функция  $s(x)$  позволяет преобразовывать яркости снимка, таким образом, чтобы повышать резкость изображения тем больше, чем ближе яркость к середине интервала  $[a, b]$ ;

– функция  $t(x)$  построена так, чтобы преобразовывать яркости снимка, таким образом, чтобы повышать резкость изображения тем больше, чем ближе яркость к границам интервала  $[a, b]$ .

Для целей практического использования предлагается использовать одну базовую унифицированную функцию плавной градационной коррекции

$$F_B(\lambda, x) = \lfloor \lambda \cdot s(x) + (1 - \lambda) \cdot t(x) \rfloor, \quad (7)$$

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

За счет подбора коэффициента  $\lambda$ ,  $0 \leq \lambda \leq 1$ , функция (7) позволяет подбирать наилучшую функцию градационной коррекции среди функций  $p(x)$ ,  $s(x)$ ,  $t(x)$  и их более гладкий аналогов, соответственно особенностям решения прикладной задачи. Представители семейства функций  $F_B(\lambda, x)$ , построенные при изменении параметра  $\lambda$  с шагом  $\Delta = 0.25$ , представлены на рис. 2, б.

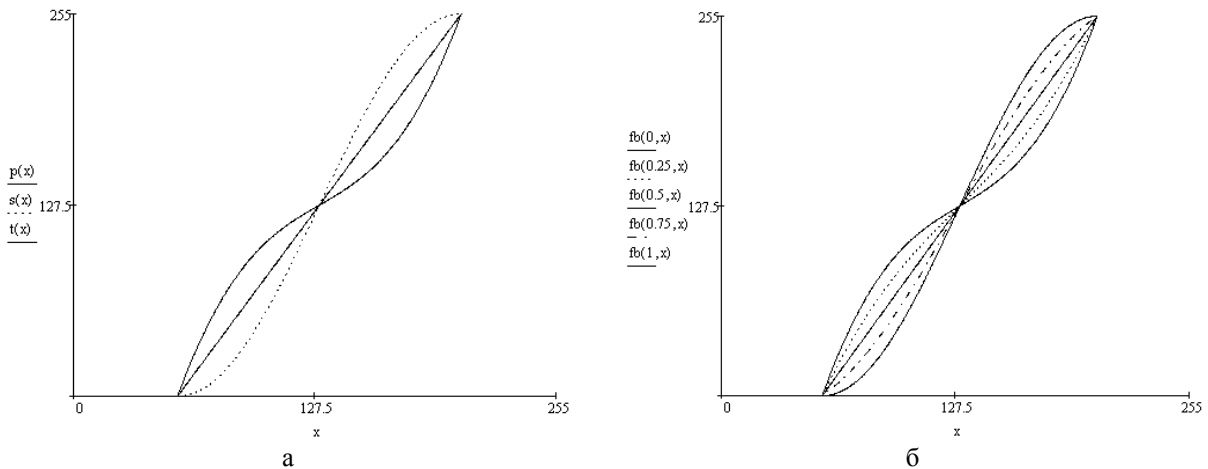


Рис. 2. Базовые функции градационной коррекции – а и представители семейства  $F_B(\lambda, x)$ , построенные при изменении параметра  $\lambda$  с шагом  $\Delta = 0,25$  – б; параметры преобразования  $a = 55$ ,  $b = 205$

При этом если  $\lambda = 1$ , функция  $F_B(1, x)$  представляется базовой функцией  $s(x)$ ; если  $\lambda = 0,5$ , функция  $F_B(0,5, x)$  представляется базовой функцией  $p(x)$ ; если  $\lambda = 0$ , функция  $F_B(0, x)$  представляется базовой функцией  $t(x)$ .

### 2. Построение модификации базовой модели градационной коррекции

При решении большинства прикладных задач связанных с проведением градационной коррекции

в настоящее время производят преобразование яркости с интервала  $[0, 255]$  на аналогичный ему интервал значений. Однако проведенные экспериментальные исследования гистограмм изображений показывают  $[X]$ , что яркость большинства реальных изображений изменяется в таком интервале значений  $[a, b]$ ,  $0 \leq a \leq b \leq 255$ , ширина которого  $b - a$ , как правило, меньше ширины интервала  $[0, 255]$ .

В таких условиях для повышения резкости целесообразно производить градационную коррекцию

с интервала  $[a, b]$  на интервал  $[0, 255]$  с использованием функции  $F_B(\lambda, x)$  вида (7) с параметрами

$$a = \min_{i,j} \{f_{i,j}\}_{i,j}, \quad b = \max_{i,j} \{f_{i,j}\}_{i,j}, \quad (8)$$

где  $\{f_{i,j}\}_{i,j}$  – яркости пикселей снимка. Функции семейства  $F_B(\lambda, x)$  автоматически масштабируются, какой бы интервал  $[a, b]$  не был выбран (рис. 2).

Недостатком функций градационной коррекции является ухудшение визуального восприятия фрагментов изображения с яркостью вблизи границ интервала  $[a, b]$ , поскольку эти значения будут преобразованы к черным, или белым цветам.

Для компенсации этого недостатка нужно видоизменить функцию (7) следующим образом.

Вначале необходимо задать пороги чувствительности  $c$  и  $d$ ,  $0 \leq c \leq d \leq 255$  для выходного интервала значений яркости.

Затем необходимо производить градационную коррекцию яркости  $x$  с исходного интервала  $[a, b]$  на выходной интервал  $[c, d]$  с использованием таких модифицированных функций

$$p(x) = k \cdot (x - a) + c; \quad k = \frac{d - c}{b - a}; \quad (9)$$

$$s(x) = \frac{d - c}{2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{(b - a)} \cdot x - \frac{\pi}{2} - \frac{a \cdot \pi}{b - a}\right) + \frac{d + c}{2}; \quad (10)$$

$$t(x) = p(x) + (p(x) - s(x)), \quad (11)$$

которые преобразуют яркости снимка, определяемые на интервале  $[a, b]$ ,  $a < b$ , на интервал значений  $[c, d]$ ,  $c < d$ . Совокупность функций (9) – (11) представлена на рис. 3.

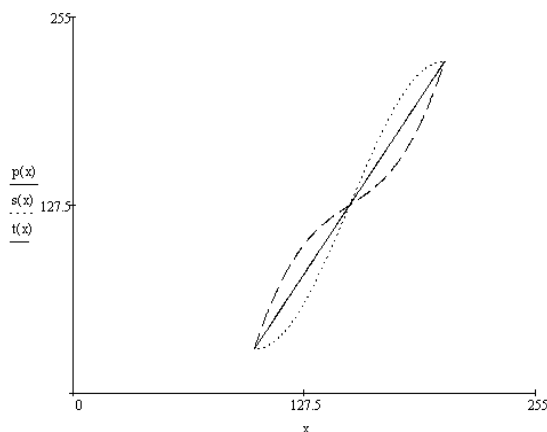


Рис. 3. Модифицированные базовые функции градационной коррекции, построенные для условий:  $a = 100$ ,  $b = 205$ ,  $c = 30$ ,  $d = 225$

Для практических целей будем и далее пользоваться функцией градационной коррекции (7), основанной на применении базовых функций градационной коррекции (9) – (11).

За счет настройки границ  $[c, d]$  на особенности обрабатываемого снимка, использование функций градационной коррекции (9) – (11) позволяет создавать такое улучшенное изображение, на котором видны все объекты вне зависимости от того, в каком диапазоне находятся их значения яркости.

Однако следует помнить, что для машинного анализа в целях максимального повышения контраста границы объекта относительно фона значения  $c$  и  $d$  целесообразно задавать так:  $c = 0$ ,  $d = 255$ .

### 3. Построение базовой экспоненциально-логарифмической модели градационной коррекции изображения

При решении ряда актуальных практических задач, например, при повышении резкости рентгеновских снимков скелета человека [2], требуется значимо нелинейно повышать резкость снимка для определенных диапазонов шкалы яркости. Для решения таких задач в настоящее время широко используются полиномы высоких степеней, экспоненциальная и логарифмическая функции (3). Все эти функции используются для преобразования яркостей снимка со стандартного диапазона яркостей  $[0, 255]$  на такой же диапазон значений  $[0, 255]$ .

Для одновременного повышения резкости, тоновой коррекции и нормировки значений яркости в выделенном диапазоне значений яркости  $[a, b]$ ,  $a < b$ , предлагается в дополнение к полиному (9) вместо функций (10) и (11) использовать такие функции градационной коррекции снимка

$$ef(x) = e^{k_1 \cdot k_2 \cdot (x - a)} - 1; \quad (12)$$

$$lf(x) = k_1^{-1} \cdot \ln[(x - a) \cdot k_2 + 1], \quad (13)$$

с коэффициентами

$$k_1 = \frac{8 \cdot \ln(2)}{255}; \quad k_2 = \frac{255}{b - a}, \quad (14)$$

которые преобразуют яркости снимка с интервала  $[a, b]$ ,  $a < b$ , на стандартный интервал значений  $[0, 255]$ , как это показано на рис. 4.

Функции (12) и (13) будем относить к расширенному набору функций градационной коррекции, поскольку они не предназначены для плавного контрастирования снимка. При этом:

– функция  $ef(x)$  построена так, чтобы преобразовывать яркости снимка на стандартный интервал значений  $[0, 255]$ , таким образом, чтобы повышать яркость и контрастность снимка тем больше, чем ближе яркость к концу интервала  $b$ ;

– функция  $lf(x)$  построена так, чтобы преобразовывать яркости снимка, на стандартный интервал значений  $[0, 255]$ , таким образом, чтобы повышать яркость и контрастность снимка тем больше, чем ближе яркость к началу интервала  $a$ .

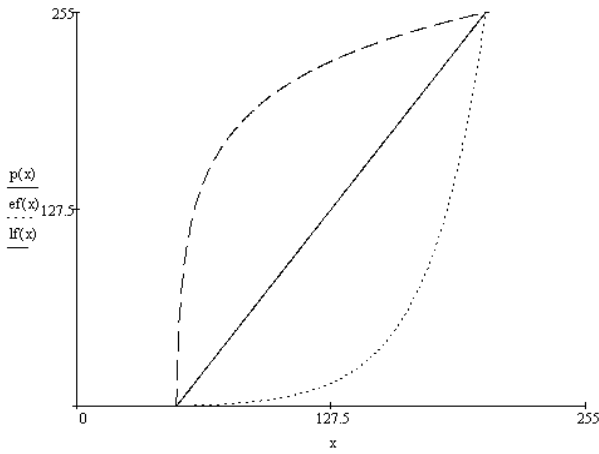


Рис. 4. Расширенный набор функций градационной коррекции (12) и (13) с параметрами  $a = 55$ ;  $b = 205$

На практике предлагается использовать одну унифицированную функцию экспоненциально-логарифмической градационной коррекции снимка

$$F_{ELC}(\lambda, x) = \begin{cases} \lfloor Z1 \rfloor & \text{если } \lambda \geq 1, \\ \lfloor Z2 \rfloor & \text{иначе;} \end{cases} \quad (15)$$

$$Z1 = (\lambda - 1) \cdot lf(x) + [1 - (\lambda - 1)] \cdot p(x); \quad (16)$$

$$Z2 = \lambda \cdot p(x) + (1 - \lambda) \cdot ef(x), \quad (17)$$

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

За счет подбора коэффициента  $\lambda$ ,  $0 \leq \lambda \leq 2$ , функция (15) позволяет под определенную ситуацию подбирать наилучшую функцию градационной коррекции среди функций (9), (12), (13) и их более гладкий аналогов.

Представители семейства функций  $F_{ELC}(\lambda, x)$ , построенные при изменении параметра  $\lambda$  с шагом  $\Delta = 0,25$ , представлены на рис. 5.

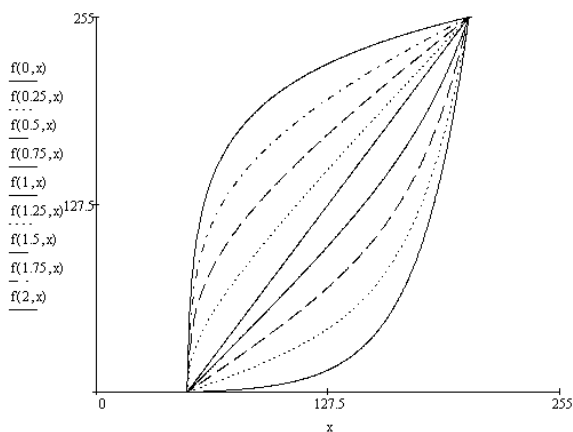


Рис. 5. Представители семейства  $F_{ELC}(\lambda, x)$ , построенные с изменением параметра  $\lambda$  с шагом  $\Delta = 0,25$  с параметрами  $a = 55$ ;  $b = 205$

Если  $\lambda = 0$ , функция  $F_{ELC}(0, x)$  представляется функцией  $ef(x)$ , если  $\lambda = 1$ , функция  $F_{ELC}(1, x)$

представляется функцией  $p(x)$ , если  $\lambda = 2$ , функция  $F_{ELC}(2, x)$  представляется функцией  $lf(x)$ .

#### 4. Построение модификации экспоненциально-логарифмической модели градационной коррекции изображения

Как указывалось выше, при решении большинства прикладных задач преобразование яркости с интервала  $[0, 255]$  производят на аналогичный ему интервал значений. Однако проведенные экспериментальные исследования гистограмм изображений показывают, что яркость большинства реальных изображений изменяется в таком интервале значений  $[a, b]$ ,  $0 \leq a \leq b \leq 255$ , ширина которого  $b - a$ , как правило, меньше ширины интервала  $[0, 255]$ .

В таких условиях для целей повышения резкости целесообразно производить градационную коррекцию с интервала  $[a, b]$  на интервал  $[0, 255]$  с использованием функции  $F_{ELC}(\lambda, x)$  с параметрами  $a$  и  $b$ , найденными соответственно (8).

Недостатком предложенной функции (15) является ухудшение визуального восприятия фрагментов изображения с яркостью вблизи границ интервала  $[a, b]$ , поскольку эти значения будут преобразованы к черным, или белым цветам.

Для компенсации этого недостатка нужно видоизменить функцию (15) следующим образом. Зададим пороги чувствительности  $c$  и  $d$  на выходном интервале  $[0, 255]$ ,  $0 \leq c \leq d \leq 255$ , а затем будем производить градационную коррекцию яркости с интервала  $[a, b]$  на интервал  $[c, d]$  с использованием функции (9) дополненной такими модифицированными функциями

$$ef(x) = k3 \cdot [e^{k1 \cdot k2 \cdot (x-a)} - 1] + c; \quad (18)$$

$$lf(x) = k3 \cdot k1^{-1} \cdot \ln[(x-a) \cdot k2 + 1] + c, \quad (19)$$

с коэффициентами

$$k1 = \frac{8 \cdot \ln(2)}{255}; \quad k2 = \frac{255}{b-a}; \quad k3 = \frac{d-c}{255}, \quad (20)$$

которые преобразуют яркости исходного изображения с интервала  $[a, b]$ ,  $a < b$ , на интервал  $[c, d]$ ,  $c < d$ . Совокупность функций (9), (18) и (19) представлена на рис. 6, а.

При решении практических задач будем пользоваться функцией градационной коррекции (15), основанной на применении модифицированных функций (9), (18) и (19).

Как видно из рассмотрения рис. 6 функции семейства  $F_{ELC}(\lambda, x)$  автоматически масштабируются, какие бы интервалы значений яркости  $[a, b]$  и  $[c, d]$  не были выбраны (рис. 6, б).

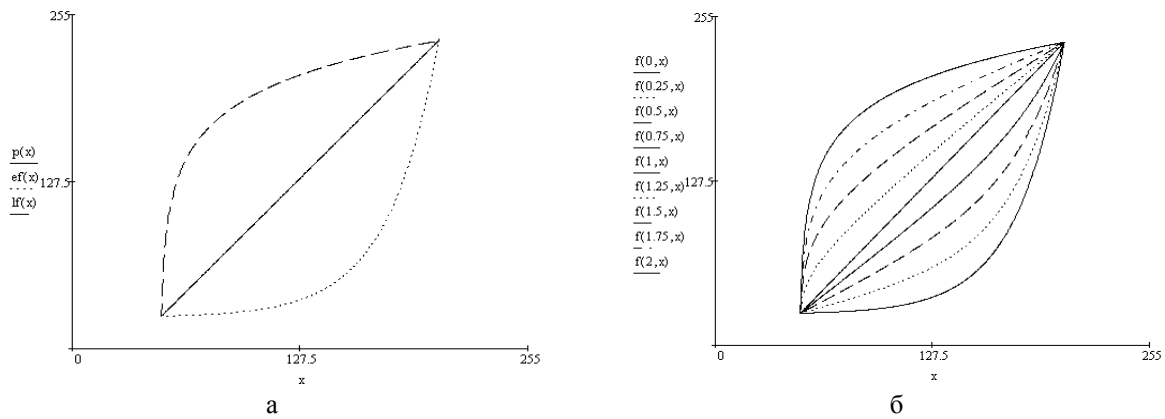


Рис. 6. Расширенные функции градационной коррекции – а и представители семейства  $F_{ELC}(\lambda, x)$ , построенные с изменением параметра  $\lambda$  с шагом  $\Delta = 0,25$  - б, где  $a = 50, b = 205, c = 25, d = 235$

При эффективной предварительной фильтрации шума [8] применение предложенных базовых функций градационной коррекции позволяет не только производить тоновую коррекцию распределения яркости снимка, но и повышать резкость снимка в среднем в  $k$  раз, соответственно (13). При этом локальное изменение резкости будет происходить соответственно свойствам выбранной функции.

За счет настройки границ  $[c, d]$  на особенности обрабатываемого снимка, использование функций градационной коррекции (10), (20) и (21) позволяет создавать такое улучшенное изображение, на котором видны все объекты вне зависимости от того, в каком диапазоне находятся их значения яркости. Но, как и ранее следует помнить, что для машинного анализа в целях максимального повышения контраста границы объекта относительно фона значения  $c$  и  $d$  целесообразно задавать так:  $c = 0, d = 255$ .

Рассмотрим теперь построение методов улучшения изображений, основанных на применении предложенных моделей градационной коррекции.

**5. Методы градационной коррекции изображения**

Пусть выбрана модель градационной коррекции  $F(x; a, b, c, d, \lambda)$ , и определены параметры модели.

*Метод 1.* В таких условиях предлагается следующий базовый метод градационной коррекции изображения (hc-метод), основные шаги которого состоят в следующем.

Шаг 1. Построение таблично заданной функции градационной коррекции. Учитывая тот факт, что область определения яркости  $x$  является целочисленной, для минимизации вычислений на этапе проведения градационной коррекции изображения, построим табличную функцию градационного преобразования  $F(x; a, b, c, d, \lambda)$  яркости  $x$  так:

1) определим матрицу строку  $M_{1 \times n}$ , где  $n$  – число возможных значений яркости  $x$ ,  $n = x^* + 1$ ,  $x^*$  – максимально возможная яркость;

2) в ячейки  $M[i]$  матрицы  $M$  внесем яркости  $F(i) = F(i; a, b, c, d, \lambda)$ ,  $i = 0, 1, \dots, x^*$ , по правилу

$$M[i] = \begin{cases} c, & \text{если } i < a, \\ F(i), & \text{если } a \leq i \leq b, \\ d, & \text{если } i > b. \end{cases} \quad (21)$$

Шаг 2. Градационная коррекция. В ходе построчного сканирования снимка будем производить преобразование яркостей  $x(\xi, \eta)$  его пикселей  $d(\xi, \eta)$  по правилу:  $x(\xi, \eta) = M[x(\xi, \eta)]$ .

Шаг 3. Конец.

В условиях, когда границы  $[a, b]$  не задаются априорно, они должны оцениваться на начальном этапе градационной коррекции соответственно (8).

*Метод 2.* В такой ситуации предложенный метод будет представляться следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Построение гистограммы частот. Построим гистограмму  $H$  частот  $h_i$  на интервале  $[0, x^*]$  целочисленных значений яркости снимка

$$H = \{h_i\}_{i=0, \dots, x^*}; \quad h_i = k_i / N, \quad (22)$$

где  $k_i$  – число пикселей снимка с яркостью  $i$ ;  $N$  – число пикселей снимка.

Построение гистограммы  $H$  частот  $h_i$  необходимо для снижения трудоемкости нахождения границ  $[a, b]$ , а также для последующей унификации метода градационной коррекции.

Шаг 2. Нахождение границ интервала яркости. На интервале  $[0, x^*]$  найдем первую  $a$  и последнюю  $b$  яркости с частотой большей нуля.

Шаг 3. Построение табличной функции градационной коррекции. Построение такой функции производится так же, как и в предыдущем методе.

Шаг 4. Градационная коррекция. В ходе построчного сканирования снимка будем производить преобразование яркостей  $x(\xi, \eta)$  его пикселей  $d(\xi, \eta)$  по правилу:  $x(\xi, \eta) = M[x(\xi, \eta)]$ .

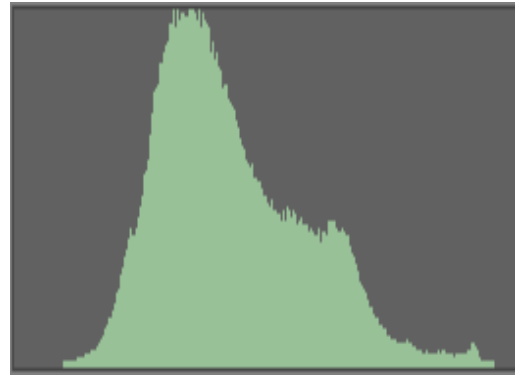
Шаг 5. Конец.

При решении многих прикладных задач можно видеть, что гистограмма яркости цифрового изображения имеет ярко выраженные хвосты (рис. 7), представляемые такими значениями яркости, веро-

ятность появления которых близка к нулю. В условиях, когда эти значения яркости не характеризуют пиксели интересных объектов на снимке, их можно отсечь, путем обнуления их частостей.



а



б

Рис. 7. Аэрофотоснимок (а) по данным <http://geographyofrussia.com/wp-content/uploads/2009/03/00.jpg> и его гистограмма (б)

Если после этого по гистограмме яркости найти значения минимальной  $a$  и максимальной  $b$  яркости снимка, то интервал области значений яркости значительно сузится. Так можно добиться дополнительного контрастирования снимка.

**Метод 3.** Для реализации этого подхода, при заданных параметрах  $(c, d, \lambda)$  и пороге  $T$  отсеечения незначимых частостей предлагается следующий модифицированный метод градационной коррекции изображения (hss-метод), основные шаги которого состоят в следующем.

**Шаг 1.** Построение гистограммы частостей. Этот шаг реализуется точно так же, как и первый шаг предыдущего метода градационной коррекции.

**Шаг 2.** Нахождение границ интервала яркости. На интервале  $[0, x^*]$  найдем первую  $a$  и последнюю  $b$  яркости с частостью  $h_i$  большей минимально допустимого уровня  $T$ :  $h_i > T$ .

**Шаг 3.** Построение табличной функции градационной коррекции. Построение такой функции производится так же, как и в предыдущем методе.

**Шаг 4.** Градационная коррекция. В ходе построчного сканирования снимка будем производить преобразования яркостей  $x(\xi, \eta)$  его пикселей  $d(\xi, \eta)$  по правилу:  $x(\xi, \eta) = M[x(\xi, \eta)]$ .

**Шаг 5.** Конец.

### 6. Оценки трудоемкости методов градационной коррекции изображения

Поскольку область определения яркости, в большинстве случаев оценивается 256 значениями, а линейные размеры современных снимков оцениваются несколькими тысячами пикселей, основной вклад в общую трудоемкость метода градационной коррекции дают шаги, в рамках которых обрабаты-

вается весь снимок. В таких условиях трудоемкость метода 1 по порядку величины будет оцениваться двумя операциями сравнения на пиксель, а трудоемкость методов 2 и 3 будет в два раза больше в связи с необходимостью построения гистограммы частостей  $H$ . Следовательно, трудоемкость метода 1 по порядку величины будет такой же, как и у аналогов, а трудоемкость методов 2 и 3 будет в два раза выше трудоемкости аналогов. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при примерно одинаковой трудоемкости, предложенные в работе методы, в сравнении с аналогами, позволяют не только получать значимо более качественные результаты, но и одновременно проводить тоновую коррекцию, контрастирование и нормировку яркости снимка.

### 7. Показатели и критерии качества повышения резкости градационной коррекцией снимка

Повышение резкости изображения может быть выражено интегральным коэффициентом  $c_s$  растяжения интервала  $[a, b]$  на интервал  $[c, d]$  с учетом соотношений  $0 \leq a \leq b \leq x^*$ ,  $0 \leq c \leq d \leq 255$  так

$$c_s = v / \mu; \quad v = (d - c) / 255; \quad \mu = (b - a) / x^*, \quad (23)$$

что геометрически определяется тангенсом  $\text{tg}(\alpha)$  угла  $\alpha$  наклона так

$$c_s = \text{tg}(\alpha) = v / \mu, \quad (24)$$

как это показано на рис. 8.

При эффективной предварительной фильтрации шума [2, 8] применение предложенных в работе функций градационной коррекции позволяет не только производить тоновую коррекцию и нормировку яркости снимка, но и значимо сужать интервал  $[a, b]$  и, следовательно, повышать резкость снимка в среднем в  $c_s$  раз. Если коэффициент  $c_s$  больше единицы, в этом случае более узкий интер-

вал  $[a, b]$  растягивается на более широкий интервал  $[c, d]$ . С ростом коэффициента  $c_s$  резкость снимка будет лишь повышаться. Если же более широкий интервал  $[a, b]$  растягивается на более узкий интервал  $[c, d]$ , в этом случае коэффициент  $c_s$  будет меньше единицы. С уменьшением коэффициента  $c_s$  резкость снимка будет только снижаться.

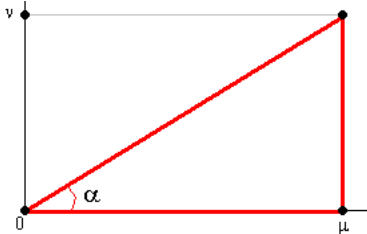


Рис. 8. Геометрическая интерпретация вычисления коэффициента растяжения  $c_s$  для нормированных шкал изменения яркости изображения (исходный диапазон  $\times$  выходной диапазон)

Если исходная область  $[0, x^*]$  значений яркости определяется диапазоном  $[0, 255]$ , тогда соответственно (23) получим

$$c_s = \frac{v}{\mu} = \frac{d-c}{b-a}; \quad v = \frac{d-c}{255}; \quad \mu = \frac{b-a}{255}. \quad (25)$$

Коэффициент  $c_s$  будем использовать в качестве интегрального (среднего) показателя повышения резкости снимка при проведении градационной коррекции. При этом будем помнить, что использование нелинейных преобразований влечет за собой локальное нелинейное изменение резкости на различных участках интервала  $[a, b]$ .

Рост коэффициента растяжения  $c_s$  приводит не только к росту контрастности объектов и мелких деталей на снимке. При этом также возрастает амплитуда не отфильтрованных шумов. Этот эффект присущ всем методам градационной коррекции без исключения. Поэтому этот эффект необходимо учитывать для эффективной обработки и восприятия результатов градационной коррекции снимка.

## Выводы

В работе предложены функции градационной коррекции распределения яркости изображения,

позволяющие одновременно производить тоновую коррекцию, повышения резкости и нормировку яркости изображения, причем для произвольных диапазонов яркости исходного  $[a, b]$  и выходного  $[c, d]$  изображений. При этом классы функций градационной коррекции выбраны так, чтобы удовлетворить требованиям большинства практически значимых задач. Так, базовые функции (9) – (11) позволяют плавно изменять яркость и контрастность всего снимка, в то время как экспоненциальная и логарифмическая функции (18) и (19) позволяют детально проявлять засвеченные и затемненные снимки, соответственно.

Основанные на использовании этих функций методы градационной коррекции позволяют одновременно производить тоновую коррекцию, повышения резкости и нормировку яркости изображения, эффективно и для произвольных диапазонов яркости исходного и выходного изображений.

## 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. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
6. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др. – Н-ск: НГТУ, 2002. – 351 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. Построение статистических методов исключения экстремальных наблюдений для обеспечения адекватного применения пространственных фильтров шума изображений / К.С. Смеляков, О.В. Водолажко, С.В. Смеляков, С.В. Осиевский // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2013. – № 4 (111). – С. 35-41.

Поступила в редколлегию 15.10.2014

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

## МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ГРАДАЦІЙНОЇ КОРЕКЦІЇ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

К.С. Смеляков, Є.М. Дроб, О.В. Водолажко

Для забезпечення ефективності попередньої обробки цифрового зображення в статті пропонується таке сімейство уніфікованих моделей і методів градаційної корекції яскравості зображень, яке дозволяє одночасно виконувати тонову корекцію, підвищення різкості і нормування, причому для довільних діапазонів яскравості вхідного і вихідного зображень.

**Ключові слова:** модель, метод, ефективність, градаційна корекція, різкість зображення.

## MODELS AND METHODS FOR GRAY-SCALE TRANSFORMATION OF DIGITAL IMAGES

K.S. Smelyakov, E.M. Drob, O.V. Vodolazhko

For attaining a required level of digital image pre-processing efficacy it is proposed a series of unified models and methods of gray-scale transformation of images which enables to perform tone transformation, sharpening and normalization, but simultaneously and for the specified brightness ranges of input and output images.

**Keywords:** model, method, efficiency, gray-scale transformation, image, sharpness.