

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).

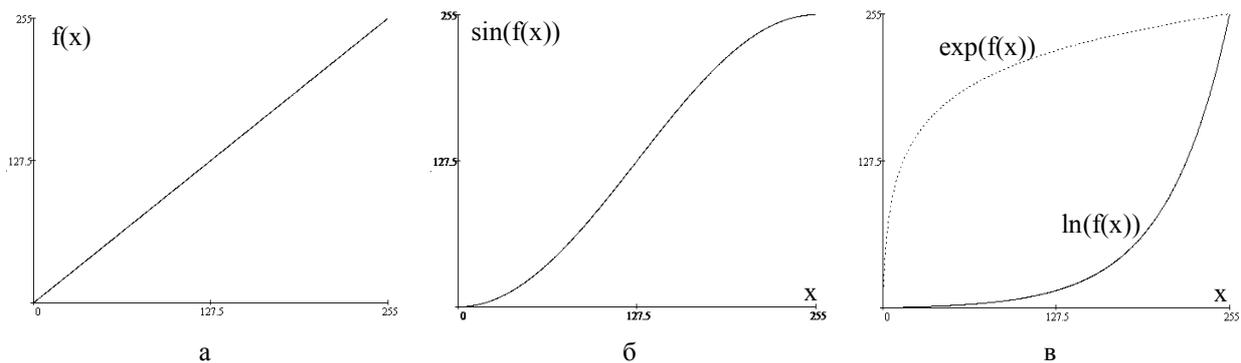


Рис. 1. Функции градационной коррекции изображения:

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 λ , $0 \leq \lambda \leq 1$, 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 λ с шагом $\Delta = 0.25$, представлены на рис. 2, б.

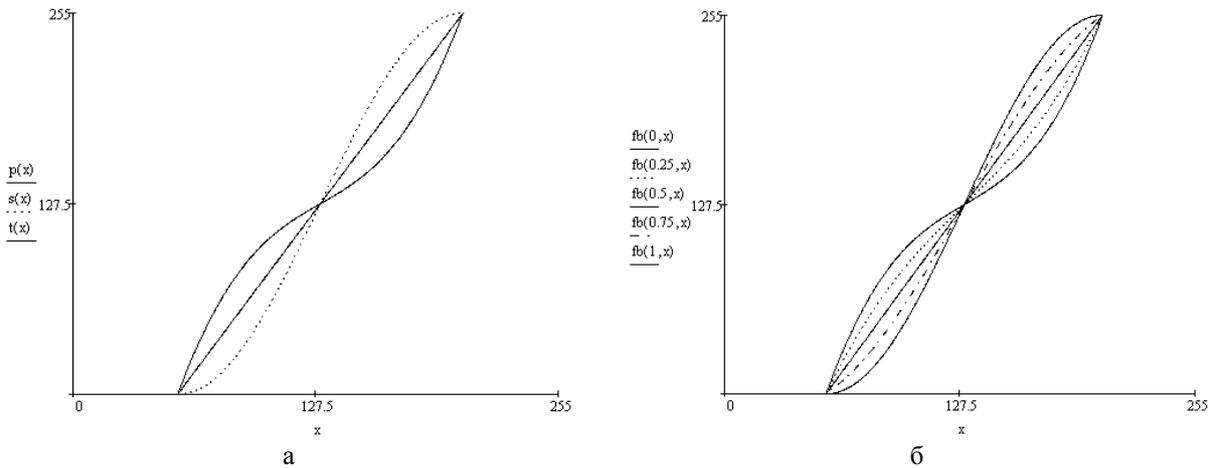


Рис. 2. Базовые функции градационной коррекции – а и представители семейства $F_B(\lambda, x)$, построенные при изменении параметра λ с шагом $\Delta = 0,25$ – б; параметры преобразования $a = 55$, $b = 205$

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

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

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.

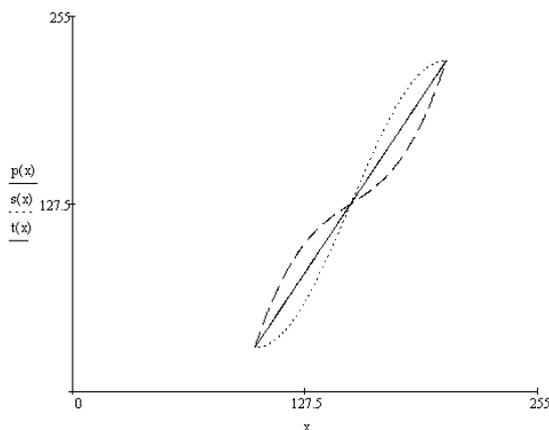


Рис. 3. Модифицированные базовые функции градационной коррекции, построенные для условий: $a = 100$, $b = 205$, $c = 30$, $d = 225$

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 .

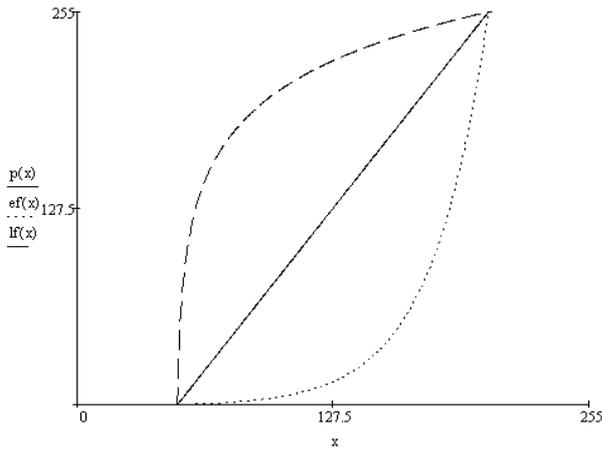


Рис. 4. Расширенный набор функций градационной коррекции (12) и (13) с параметрами $a = 55$; $b = 205$

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 λ , $0 \leq \lambda \leq 2$, 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 λ с шагом $\Delta = 0,25$, представлены на рис. 5.

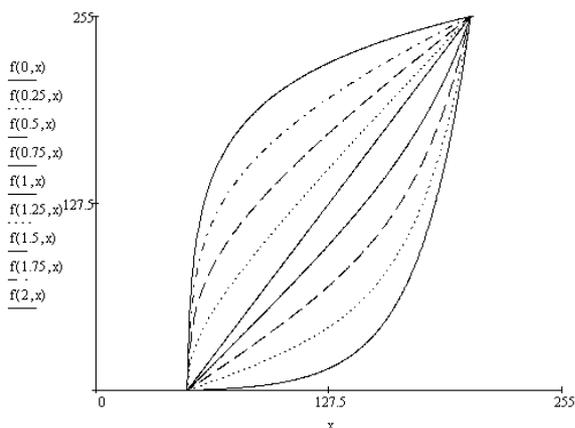


Рис. 5. Представители семейства $F_{ELC}(\lambda, x)$, построенные с изменением параметра λ с шагом $\Delta = 0,25$ с параметрами $a = 55$; $b = 205$

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).

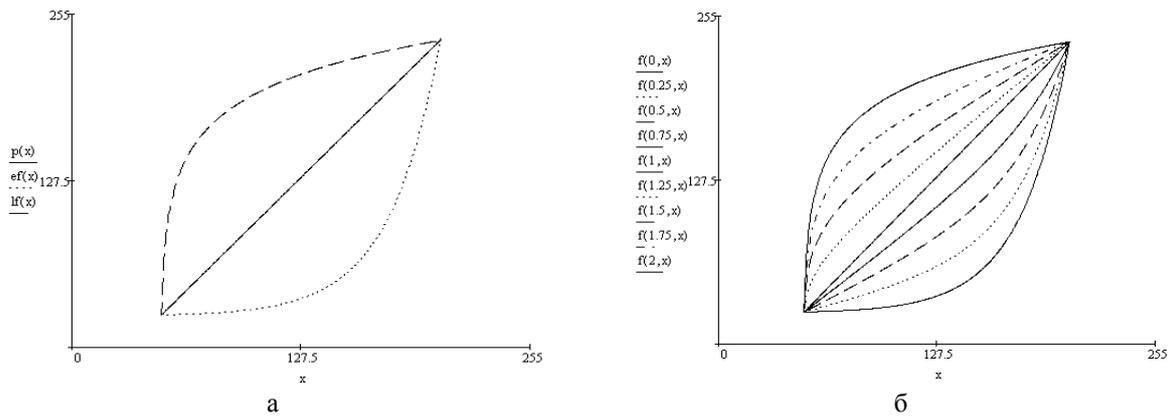


Рис. 6. Расширенные функции градационной коррекции – а и представители семейства $F_{ELC}(\lambda, x)$, построенные с изменением параметра λ с шагом $\Delta = 0,25$ - б, где $a = 50, b = 205, c = 25, d = 235$

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 преобразования 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 преобразования 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.

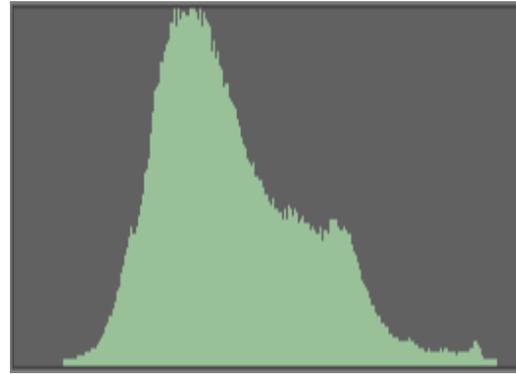


Рис. 7. Аэрофотоснимок (а) по данным <http://geographyofrussia.com/wp-content/uploads/2009/03/00.jpg> и его гистограмма (б)

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, λ) и пороге T отсекаемых 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 α 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.

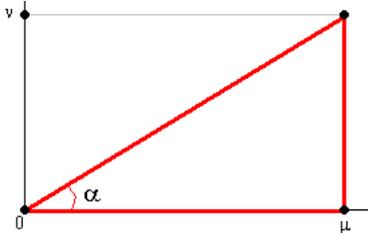


Рис. 8. Геометрическая интерпретация вычисления коэффициента растяжения c_s для нормированных шкал изменения яркости изображения (исходный диапазон \times выходной диапазон)

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, С.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.