

Восстановление амплитудных характеристик монохромных и мультиспектральных изображений, используя функцию градиентов

П. А. Чочиа

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, Москва, Россия
Поступила в редколлегию 28.04.2016

Аннотация—Исследуется задача автоматического восстановления и улучшения изображений, искаженных неизвестным нелинейным амплитудным преобразованием. Введено понятие *функции градиентов* (ФГ) изображения. На основе модели изображения предложен метод оценивания ФГ и выдвинута гипотеза о ее форме для неискаженного изображения. Исследован вид ФГ для эталонных изображений. Разработан алгоритм восстановления и улучшения изображения с помощью преобразования, приводящего форму ФГ к заданному виду. Рассмотрены возможные варианты применения алгоритма к цветным и мультиспектральным изображениям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обработка изображений, восстановление амплитудной характеристики, функция градиентов.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных средств получения информации в дистанционном зондировании и неразрушающем контроле являются монохромные и мультиспектральные изображения [1–4]. Полученные изображения в дальнейшем используются для анализа и извлечения информации, фотограмметрических измерений, визуального дешифрирования и т.п. [1–3, 5, 6]. В некоторых ситуациях точная амплитудная характеристика регистрирующих приборов отсутствует, в частности, если наличествуют этапы, связанные с прохождением сигнала через непостоянную среду [1, 2, 5], или в которых использован фотопроектор и хранение фотоматериалов [7–9]. Задаче автоматического восстановления амплитудных характеристик и улучшения подобных искаженных изображений и посвящена настоящая работа.

На этапах формирования и регистрации изображения, вплоть до преобразования его в цифровую форму, возникают амплитудные искажения вида $z = F(z_0)$, где z_0 и z — исходное и получаемое искаженное значения сигнала соответственно, а F — нелинейная монотонная функция преобразования. В случае мультиспектральных (J -канальных) изображений, обычно $F_i \neq F_j$. Вопрос отыскания прямой функции F , или же обратной к ней функции f , обеспечивающей восстановление сигнала $z_0 = f(z)$, обычно обходится стороной, подразумевая, что F можно получить путем калибровки системы регистрации. Однако соответствующие точные измерения всей процедуры формирования изображения возможно провести далеко не всегда. При отсутствии дополнительных данных, задачу отыскания F можно решать лишь на основании анализа получаемого, предположительно искаженного изображения $\mathbf{Z} = \{z(x, y)\}$ (одно- или мультиспектрального), т.н. “слепым” методом [10].

Задача амплитудной коррекции или улучшения изображений в классической постановке обычно рассматривается с позиции приведения распределения вероятностей значений $z(x, y)$,

т.е. гистограммы $h(z)$ изображения, к желаемому виду [7–9]. Однако традиционный подход, основанный лишь на анализе $h(z)$, не в состоянии предложить удовлетворительного решения — это связано с существенным влиянием на форму $h(z)$ не только вида функции F , но и самого сюжета сцены, от чего будет зависеть и вид получаемой функции обратного преобразования f . В решении указанной задачи мы будем опираться на модель изображения [28] и с ее помощью попытаемся отыскать какие-то измеримые характеристики изображений, которые могли бы лечь в основу определения функции f , которую будем называть *функцией амплитудной коррекции*.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ АМПЛИТУДНОЙ КОРРЕКЦИИ

В большинстве используемых методов амплитудной коррекции изображений ставится задача приведения распределения некоторой величины $p(z)$, измеряемой по получаемому искаженному изображению $z(x, y)$, к заранее задаваемому виду $q(z)$. В их основе лежат соотношения, которые сводятся к следующему.

Считается, что $p(z) > 0$ и $q(z) > 0$ во всем диапазоне изменения значений z : $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$, а также что $\int_0^Z p(z)dz = \int_0^Z q(z)dq = 1$. Задача сводится к определению монотонно возрастающей функции $f(z)$ такой, что $p(f(z)) = q(z)$. Иногда дополнительно предлагается ввести степенное преобразование аргумента [14] $\tilde{z} = z^\alpha$, рассматривая далее $p(\tilde{z})$ и $q(\tilde{z})$, или пороговое ограничение (клипирование) гистограммы [33]: $p_1(z) = T$, если $p(z) > T$. Но подобные преобразования не меняют принципиально существа вопроса.

Обозначим функции распределения через $P(x) = \int_0^x p(z)dz$ и $Q(x) = \int_0^x q(z)dz$. Тогда, при условии необходимой гладкости, $P(z) = Q(f(z))$ и имеется обратная к $Q(z)$ функция $Q^{-1}(z)$ такая, что $Q^{-1}(Q(z)) = z$. Из этого следует основное соотношение:

$$f(z) = Q^{-1}(P(z)). \quad (1)$$

Таким образом, определив по исходному (искаженному) изображению $P(z)$ и задавшись требуемой зависимостью $Q(z)$, имеющей обратную $Q^{-1}(z)$, легко находится функция амплитудной коррекции $f(z)$.

На основе соотношения (1) построены многочисленные алгоритмы улучшения изображений, использующие выравнивание (эквализацию) или же приведение гистограммы $h(z)$ распределения значений $z(x, y)$ к заданному виду $h_0(z)$. Алгоритмы данного класса были предложены достаточно давно [11–16], однако интерес к ним не ослаб и в настоящее время. Различные их модификации предлагаются для коррекции как монохромных [17–23], так и цветных [24–26] изображений. В последнем случае обычно осуществляют переход из цветового пространства RGB в пространство с разделенными яркостной и цветовыми компонентами (например, HSV), после чего выполняют амплитудную коррекцию только яркостной (H) компоненты [25] и обратное цветовое преобразование.

Как уже было сказано выше, такой подход, основанный на анализе гистограммы получаемого изображения, существенно зависит не только от вида искажающей функции F , но и от сюжета самой сцены. Очевидно, что если исходное распределение $h(z)$ измерять не по всему изображению, а лишь по отдельным его участкам, то это приведет к соответствующим изменениям как $h(z)$, так и функции амплитудной коррекции $f(z)$. Выбор таких сюжетно важных участков индивидуален для каждого изображения. В некоторых случаях предлагается для этой цели использовать так называемые *информационные участки* изображения — вблизи контуров [15]; утверждается, что такие гистограммы должны быть близки к распределению нормальной случайной величины.

Следует отметить, что строгое выполнение соотношения (1) возможно лишь при условии непрерывного представления значений z . В случае квантованных значений яркости, когда $f(z)$

задана на дискретном множестве $[0, K - 1]$, восстановление осуществимо лишь с определенной степенью точности, что может привести к появлению на изображении так называемых “ложных контуров”. Подобные искажения удастся существенно ослабить, если добавить к значению сигнала изображения случайный шум. В [27] показано, что оптимальным является равномерный шум, дисперсия которого составляет $1/3$ величины интервала квантования.

3. ЛОКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Упомянутые выше методы коррекции основаны на априорных предположениях о распределении вероятностей значений $z(x, y)$ и не учитывают *локальные статистические связи* на изображении, хотя очевидно, что амплитудные искажения должны приводить также и к их изменениям. Поставим задачу определения функции $f(z)$ по искаженному изображению, основываясь на локальной многокомпонентной модели изображения [28]. Согласно данной модели, изображения характеризуются наличием протяженных областей различного размера (деталей изображаемой сцены) со слабо меняющейся яркостью, разделенных контурными перепадами. При этом изображение $\mathbf{Z} = \{z(x, y)\}$, $z(x, y) \in [0, Z]$ трактуется как сумма статистически независимых компонент: $z(x, y) = s(x, y) + t(x, y) + \zeta(x, y)$, где $s(x, y)$ — кусочно-гладкая компонента, определяющая средний уровень яркости в области принадлежности точки (x, y) , $t(x, y)$ — текстурно-детальная компонента, а $\zeta(x, y)$ — шум. Компоненты полагаются независимыми, а $t(x, y)$ и $\zeta(x, y)$ — нормально распределенными и несмещенными [28].

Рассмотрим локальную окрестность $V(x, y)$, окружающую точку (x, y) . Возьмем точку r окрестности: $r \in V(x, y)$. Расстояние между центральной точкой (x, y) и r обозначим ρ^r . Приближим функцию $z(x, y)$ в границах $V(x, y)$ плоскостью, составляющей с горизонтальной плоскостью двугранный угол $\varphi(x, y)$. Тем самым каждой точке изображения можно приписать вектор градиента $\mathbf{g}(x, y)$ с амплитудой $g(x, y) = tg\varphi(x, y)$ и углом поворота $\theta(x, y)$. Через $g^r(x, y)$ обозначим величину проекции $\mathbf{g}(x, y)$ на вектор из точки (x, y) в точку r . Проведенная плоскость в точке r отличается от значения $z^r(x, y)$ на случайную величину $\xi^r(x, y)$. Такое представление позволяет связать значения точек окрестности $V(x, y)$ формулой:

$$z^r(x, y) = \mu(x, y) + \rho^r g^r(x, y) + \xi^r(x, y), \quad (2)$$

где $\mu(x, y)$ — значение проведенной плоскости в центральной точке окрестности (x, y) .

Учтем в (2) преобразование $F(x)$. Составляющая $\mu(x, y)$ изменится на $F(\mu(x, y))$, градиент $g(x, y)$ на $F'(\mu(x, y))g(x, y)$, а составляющая $\rho^r g^r$ — на $F'(\mu(x, y))\rho^r g^r(x, y)$, где $F'(z)$ — производная $F(z)$ в точке z . Полагая, что шум ξ^r добавляется уже после амплитудного преобразования $F(z)$, получим:

$$z^r(x, y) = F(\mu(x, y)) + F'(\mu(x, y))\rho^r g^r(x, y) + \xi^r(x, y). \quad (3)$$

4. ФУНКЦИЯ ГРАДИЕНТОВ

Воспользуемся подходом, используемым при исследовании двумерных вариаций функций [29–31]. Считая $z(x, y)$ непрерывной функцией, рассмотрим множество e_k уровня k этой функции, т.е. ее сечение плоскостью $z(x, y) = k$. Обозначим через l ($0 \leq l \leq L_k$) положение точки множества (в последовательном обходе всех образуемых линейных компонент), где L_k — длина множества e_k , и подсчитаем величину

$$C(k) = \int_{e_k} g(l) dl, \quad (4)$$

которую назовем *функцией градиентов* изображения.

Для изображения с исходной функцией градиентов $C_0(k)$, искаженного амплитудным преобразованием $F(z)$, на основании (3) справедливо: $C(F(k)) = F'(k)C_0(k)$. Поскольку $F(z)$ предполагается монотонной и без особенностей, для нее существует обратная, также монотонная функция $f(z)$, производная которой $f'(z)$. Тогда формула восстановления функции градиентов запишется:

$$C_0(f(k)) = f'(k)C(k). \quad (5)$$

Зависимость $C(k)$ находится анализом полученного изображения Z . Если задаться какими-либо априорными сведениями о виде функции градиентов $C_0(k)$ неискаженного изображения, то из (5) удастся определить требуемую функцию амплитудной коррекции $f(k)$.

5. ГИПОТЕЗА О ВИДЕ ФУНКЦИИ ГРАДИЕНТОВ

Согласно модели [28], изображение представимо набором областей постоянной или плавно меняющейся яркости, разделенных контурными перепадами. Кроме того показано, что значения градиента $g(x, y)$ в (2) для множества точек, соответствующих внутренним участкам областей, и для множества точек, соответствующих участкам разделяющих их контуров, различаются в $3 \div 10$ раз. Очевидно, что вид функции градиентов $C(k)$, измеренной только по первому или только по второму из указанных множеств точек, будет совершенно разным.

При измерении $C(k)$ по внутренним участкам областей существенное влияние оказывают следующие факторы: а) статистические свойства текстур разных областей изображения могут заметно различаться и влиять на значения градиента $g(x, y)$, в результате чего форма $C(k)$ будет в значительной степени определяться ими, а не реальными амплитудными искажениями; б) в ряде случаев размах значений текстурной компоненты невелик и вероятна ситуация, что в распределении значений $\mu(x, y)$ появятся мало или даже не заполненные участки, приводящие к неопределенности функции градиентов.

Значительно более предпочтительным выглядит использование множества контурных точек изображения. Значения $g(x, y)$ на контурном перепаде между соседними областями U^i и U^j , имеющими яркости S^i и S^j ($S^i < S^j$), задаются разницей $(S^j - S^i)$ и пространственной шириной перепада. Для неискаженного изображения можно сделать следующие допущения: а) множество отрезков $[S^i, S^j]$, определяемых яркостями соседних областей, покрывают почти весь диапазон яркостей изображения $[k_{\min}, k_{\max}]$; б) на контурном перепаде между соседними областями U^i и U^j вероятность значения $g(x, y)$ распределена равномерно на $[S^i, S^j]$; в) усредненные по z значения $g(x, y)$ не зависят от S^i и S^j , и в силу влияния разнообразных случайных факторов могут считаться одинаковыми на всем диапазоне $[k_{\min}, k_{\max}]$.

Из сделанных предположений вытекает, что для неискаженного изображения значения функции $C_0(k)$, определяемые по множеству контурных точек, должны быть одинаковыми во всем диапазоне значений яркостей $[k_{\min} \leq k \leq k_{\max}]$. Таким образом можно выдвинуть гипотезу о *константности функции градиентов* на изображении: $C_0(k) \approx C_0$.

Представляет безусловный интерес проверка данной гипотезы. Для этого необходимо измерить $C(k)$ по формуле (4) на каких-либо изображениях, которые можно было бы принять за неискаженные и эталонные. К сожалению, выбрать изображения, про которые можно было бы с уверенностью сказать, что они не подвергались неконтролируемым амплитудным искажениям (либо форма таких искажений была достаточно точно известна — в этом случае их легко исправить), оказалось затруднительным. Поэтому для анализа был выбран набор изображений высокого визуального качества, предполагавшихся искаженными незначительно.

Эксперименты показали, что вид функции градиентов, измеряемой на множестве контурных точек по изображениям, выбранным эталонными, неплохо согласуется с гипотезой о константности $C(k)$: величина отклонения укладывается в диапазон $10 \div 15\%$. И наоборот, при

измерении $C(k)$ по всему изображению наблюдается весьма заметная антикорреляция функции градиентов и гистограммы изображения: впадины $C(k)$ совпадают с пиками гистограммы $h(k)$. Тем самым проведенные исследования подтверждают гипотезу о константности функции градиентов $C(k)$, измеренной на множестве контурных точек изображения.

В качестве примеров на Рис. 1(а,в) приведена пара тестовых изображений, а на Рис. 1(б,г) — графики их функций градиентов $C(k)$ для контурных точек (1) и гистограмм $h(k)$ распределений значений элементов (2) соответственно. Как видно, зависимости $C(k)$, измеренные по контурным точкам, близки к константным и не коррелируют с $h(k)$.

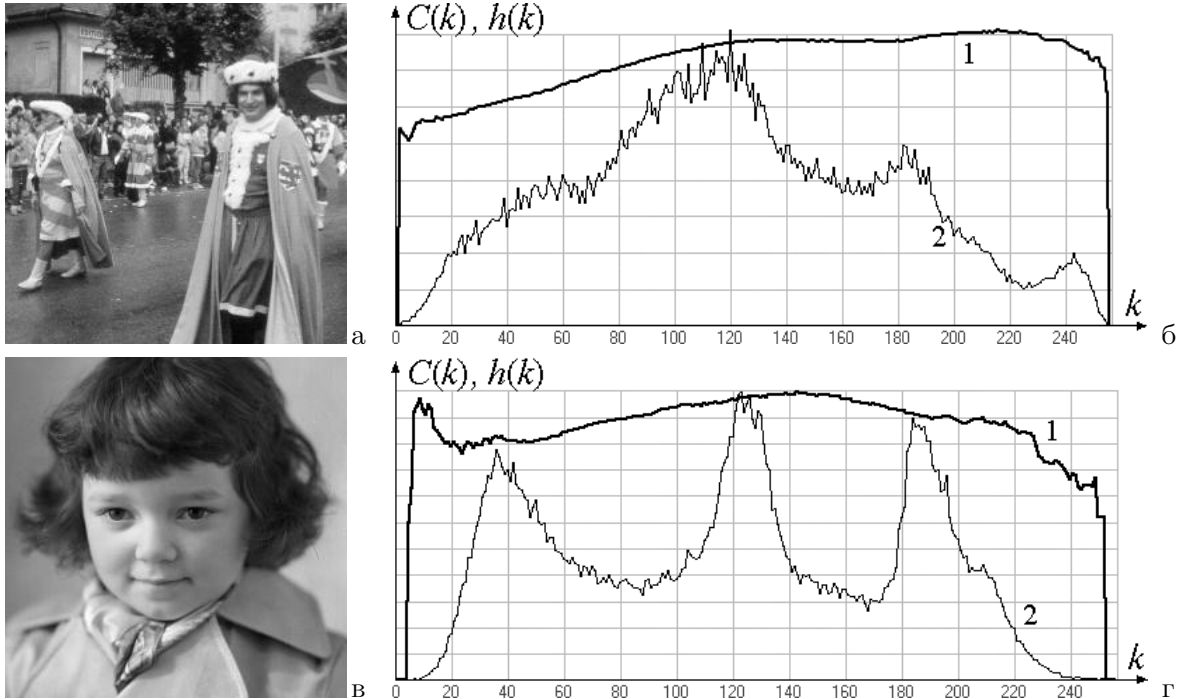


Рис. 1. (а), (в): тестовые изображения; (б), (г) графики: 1 – функции градиентов $C(k)$ по контурным точкам, 2 – гистограммы $h(k)$ изображений соответственно.

6. ВЫРАВНИВАНИЕ ФУНКЦИИ ГРАДИЕНТОВ

На основании гипотезы о константности функции градиентов, из (5) следует: $f'(k) = C_0/C(k)$. Интегрируя по k , $f(k) = C_0 \int_{z=0}^k (1/C(z)) dz$; вводя нормировку $f(K) = K$, найдем:

$$C_0 = K / \int_{z=0}^K (1/C(z)) dz.$$

Таким образом получим окончательное выражение для функции амплитудной коррекции $f(k)$, выравнивающей функцию градиентов на изображении:

$$f(k) = K \int_{z=0}^k (1/C(z)) dz / \int_{z=0}^K (1/C(z)) dz. \quad (6)$$

Проблемной точкой алгоритма является необходимость выделения на изображении контурных участков. Поскольку амплитудные искажения влияют на результаты обнаружения контуров, решение задачи коррекции зависит от вида первоначального искажения $F(z)$. Преодолеть указанную сложность можно итерационным подходом, объединяя в каждом итерационном цикле операции обнаружения контуров и выравнивания функции градиентов.

На Рис. 2(а) представлено изображение с неизвестным амплитудным искажением, а на Рис. 2(б) — его обработка алгоритмом (6) с двумя итерациями. В результате стали видны детали в тенях, совершенно не различимые на исходном изображении. На Рис. 2(в) показаны графики зависимостей: 1 — гистограмма $h(k)$ исходного изображения (а); 2 — функция градиентов $C(k)$ исходного изображения для множества контурных элементов, полученная по формуле (4); 3 — функция амплитудной коррекции $f(k)$. Масштаб графика по оси ординат соответствует кривой 3; масштабные параметры кривых 1 и 2 не существенны. Как нетрудно видеть, форма $C(k)$ совершенно не похожа на форму $h(k)$.

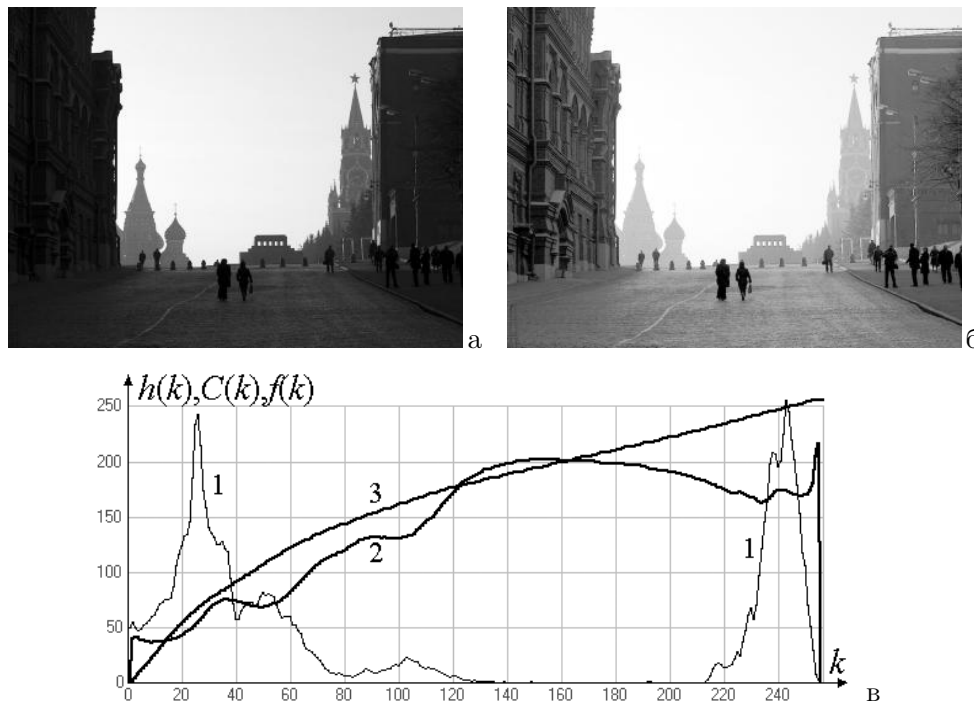


Рис. 2. Выравнивание функции градиентов: а) исходное изображение; б) результат коррекции; в) графики: 1 — гистограмма исходного изображения $h(k)$; 2 — функция градиентов $C(k)$; 3 — функция амплитудной коррекции $f(k)$.

Проводились эксперименты по обработке ряда изображений данным алгоритмом (6), выравнивающим функцию градиентов для контурных участков. Визуальная экспертиза показала, что обработанные таким способом изображения являются предпочтительными как по сравнению с исходными, так и по сравнению с обработанными другими алгоритмами амплитудной коррекции.

7. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Амплитудные искажения мультиспектральных (цветных, многоканальных) изображений, как правило, происходят независимо по каждому из каналов. Это позволяет также независимо применять к каждому из J каналов алгоритм коррекции (6). Если по мультиспектральным (например, аэрокосмическим) изображениям судить о правильности восстановления баланса цветов затруднительно, то обычные цветные RGB-изображения позволяют делать такую визуальную оценку. Эксперименты показали, что независимое поканальное применение алгоритма выравнивания функции градиентов по контурным точкам в большинстве случаев улучшает (восстанавливает) цветовой баланс искаженных цветных изображений, что косвенно говорит о корректности выполненного градационного преобразования.

При обработке многоканальных изображений возникает вопрос о выделении множества контурных точек: следует ли формировать для каждого из каналов индивидуальное множество контурных точек, или такое множество должно быть единым для всех каналов. В первом случае мы получаем независимую поканальную обработку. Во втором случае можно предложить различные способы формирования единого контурного множества: объединение контурных множеств, получаемых по каждому из каналов, выбор множества по какому-то одному каналу, формирование множества комбинацией каналов (получаемой, например, методом главных компонент или заранее задаваемым преобразованием каналов), или какие-то еще способы. Вопрос о наилучшем способе формирования единого контурного множества остается на данный момент открытым.

8. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для тестирования алгоритма выравнивания функции градиентов (6) были выбраны различные по сюжету монохромные, цветные и мультиспектральные изображения, разделенные на следующие три группы: а) изображения низкого визуального качества; б) эталонные изображения высокого качества, искаженные амплитудным преобразованием, остающимся неизвестным; в) те же эталонные изображения в неискаженном виде. После обработки алгоритмом (6) для каждого изображения определялись две визуальные оценки: сравнение с изображением, подававшимся на вход алгоритма выравнивания функции градиентов (первая) и сравнение с исходным неискаженным изображением (вторая).

Эксперименты показали, что изображения низкого качества (а) были улучшены как по первой, так и по второй оценкам. Искаженные изображения (б) также были улучшены по первой оценке, но в некоторых случаях качество обработанного изображения оказывалось хуже по второй оценке. Эталонные изображения (в) после преобразования разделились на три приблизительно равные группы: группу практически не изменившихся изображений, группу измененных, но имеющих близкое визуальное качество, и группу изображений, ухудшившихся по второй оценке.

Факту ухудшения некоторых эталонных изображений можно дать следующее объяснение. Изображения высокого качества, как правило, занимают полный диапазон яркостей и обладают высоким контрастом между протяженными объектами. Алгоритм (6) повышает контраст деталей в областях, соответствующих участкам амплитудной характеристики с пониженным значением функции градиентов (таковыми, как правило, являются затененные или яркие области). Преобразование (6) растягивает такие части диапазона, а значит, снижает контраст между объектами в остальных частях диапазона яркостей, что часто и воспринимается как ухудшение визуального качества изображения.

На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод, что алгоритм (6) является вполне удовлетворительным в применении к большинству изображений.

9. ВЫВОДЫ

Исследована задача автоматической яркостной (амплитудной) коррекции изображений. Для оценки яркостных искажений изображения предложена функция градиентов. Выдвинута гипотеза о ее константности, подтвержденная экспериментально с точностью 10–15%. Разработан алгоритм автоматической коррекции изображений, обеспечивающий выравнивание функции градиентов и восстановление амплитудных характеристик изображений.

Экспериментальные оценки алгоритма выравнивания функции градиентов показали его эффективность и предпочтение по сравнению с другими алгоритмами автоматической ампли-

тудной коррекции, а также применимость как к монохромным, так и к цветным и многозональным изображениям.

Результаты предложенного алгоритма могут быть использованы для коррекции и улучшения монохромных или многозональных изображений как с целью визуализации получаемой информации, так и с целью дальнейшего их автоматического анализа.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00150).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дистанционное зондирование: количественный подход.* / Дейвис Ш. М., Ландгребе Д. А., Филлипс Т. Л. и др. М.: Недра, 1983.
2. Сутырина Е. Н. *Дистанционное зондирование Земли: учебное пособие.* Иркутск: ИГУ, 2013.
3. Шовенгердт Р. А. *Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений.* М.: Техносфера, 2010.
4. Earth Science Reference Handbook. *A Guide to NASA's Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions.* / Ed.: Parkinson C. L., Ward A., King M. D. Washington, NASA, 2006.
5. Чабан Л. Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации для картографирования геопространственных данных. *Учебное пособие.* М.: МИИГАиК, 2013.
6. Лабутина И. А. *Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учебное пособие для студентов вузов.* М.: Аспект Пресс, 2004.
7. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений.* М.: Мир, 1982, Т. 1, 2.
8. Rosenfeld A., Kak A. C., *Digital Picture Processing.* vol. 1–2. N.-Y.: Academic press, 1982.
9. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений.* М.: Техносфера, 2012.
10. Karnaukhov V., Kober V. Blind identification of linear degradation operators in the Fourier domain. // Proc. SPIE. Applications of Digital Image Processing XXXVIII, 2015, vol. 9599, 95992I, pp. 1–7.
11. Hall E. L. Almost Uniform Distribution for Computer Image enhancement // IEEE Trans. Computers, 1974, vol. C-23, no. 2, pp. 207–208.
12. Hummel R. A. Histogram Modification Techniques // Computer Graphics Image Processing, 1975. vol. 4, no. 3. pp. 209–224.
13. Frei W. Image Enhancement by Histogram Hyperbolisation // Computer Graphics Image Processing, 1977, vol. 6. no. 3. pp. 286–294.
14. Беликова Т. П. Некоторые методы цифрового препарирования изображения // *Цифровая обработка сигналов и ее применения.* М.: Наука, 1981, С. 87–99.
15. Литван Р. И., Аверьянов Ю. И., Быковская Ф. С. Оптимальное градационное преобразование изображений // *Техника кино и телевидения*, 1979, № 2, С. 38–41.
16. Fu-Nian Ku The Principles and Methods of Histogram Modification Adapted for Visual Perception // Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, vol. 26, no. 1, pp. 107–117.
17. Stark J. A. Adaptive Image Contrast Enhancement Using Generalizations of Histogram Equalization // IEEE Trans. Image Processing, 2000, vol. 9, no. 5, pp. 889–896.
18. Cho W., Seo S., You J., Kang S. Enhancement Technique of Image Contrast using New Histogram Transformation // *Journal of Computer and Communications*, 2014, no. 2, pp. 52–56.
19. Singh R. P., Dixit M. Histogram Equalization: A Strong Technique for Image Enhancement // *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2015, vol. 8, no. 8, pp. 345–352.

20. Garg R., Mittal B., Garg S. Histogram Equalization Techniques For Image Enhancement // International Journal of Electronics & Communication Technology, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 107–111.
21. Vedavathi S., Deepu R., Aravind H. S., Rakesh V. Review of image enhancement histogram equalization techniques // International Journal of Science, Engineering and Technology Research, 2014, vol. 3, no. 4, pp. 674–676.
22. Rani A., Kaur R. Image Enhancement using Histogram Equalization // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2015, vol. 5, no. 7, pp. 603–606.
23. Patel O., Maravi Y.P.S., Sharma S. A comparative study of histogram equalization based image enhancement techniques for brightness preservation and contrast enhancement // Signal & Image Processing : An International Journal, 2013, vol. 4, no. 5, pp. 11–25.
24. Basha M. S., Ramakrishnan M. Color Image Enhancement Based on Modified Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization // International Journal of Engineering Research & Technology, 2013, vol. 2, no. 12, pp. 3083–3088.
25. Kapoor K., Arora S. Colour image enhancement based on histogram equalization // Electrical & Computer Engineering: An International Journal, 2015, vol. 4, no. 3, pp. 73–82.
26. Krishna A. S., Rao G. S., Sravya M. Contrast enhancement techniques using histogram equalization methods on color images with poor lightning // International Journal of Computer Science, Engineering and Applications, 2013, vol. 3, no. 4, pp. 15–24.
27. Виллингсли Ф. Влияние шума аппаратуры цифровой обработки изображений // *Обработка изображений и цифровая фильтрация*. М.: Мир, 1979. С. 271–307.
28. Чочиа П. А. Двухмасштабная модель изображения // *Кодирование и обработка изображений*. М.: Наука, 1988, С. 69–87.
29. Кронрод А. С. О функциях двух переменных // УМН, 1955, т. 5, № 1, С. 24–134.
30. Витушкин А. Г. *О многомерных вариациях*. М., Гостехиздат, 1955.
31. Чочиа П. А., Милукова О. П. Сравнение двумерных вариаций в контексте оценки сложности дискретных изображений. // Информационные процессы, 2015, Т. 15, № 2, С. 169–182.
32. Чочиа П. А. Методы преобразования изображений, использующие двухмасштабную модель // *Кодирование и обработка изображений*. М.: Наука, 1988, С. 98–112.
33. Chochia P. A. Two Tasks in Image Enhancement Technology // Optical Memory and Neural Networks, 1998, vol. 7, no. 1, pp. 37–50.

Recovering of the Amplitude Characteristics of Monochrome and Multispectral Images Using the Function of Gradients

Chochia P. A.

The task of automatic recovering and enhancement of monochrome and multispectral images, distorted by unknown nonlinear amplitude transformation, is investigated. The conception of image *function of gradients* (FG) is introduced. On the base of the image model the method for estimating the FG is proposed. The hypothesis of the shape of FG is suggested. The shape of FG is investigated for a set of different etalon images. The algorithm for image recovering and enhancement is developed, that reduces the shape of FG to a predefined form. The adaptation of the algorithm to color and multispectral images is discussed.

KEYWORDS: image processing, inverse amplitude transformation, gradient function.