

УДК 004.3

Е. В. Павловский, ст. преподаватель
ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина
yevhen.pavlovskiy@donntu.edu.ua

Анализ базовых методов обработки изображений

Рассмотрены базовые алгоритмы обработки изображения, такие как линейная и нелинейная коррекция, степенная и логарифмическая коррекция изображения. Были рассмотрены методы устранения шума, такие как линейная и медианная фильтрация. Проведен анализ перечисленных методов, выявлены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: *линейная коррекция, нелинейная коррекция, гамма-коррекция, логарифмическая коррекция, пространственная фильтрация, нелинейная фильтрация.*

DOI: 10.31474/1996-1588-2018-1-26-48-54

Введение

На сегодняшний день актуальной задачей является улучшение изображений, полученных с помощью цифровых фото и видеокамер, рентгеновским аппаратом и другими цифровыми устройствами. В зависимости от предметной области и задач, решаемых в ней, используются те или иные методы обработки изображений, направленные на улучшения качества изображений и выделение контуров объектов на изображении, таких как:

- коррекция цветопередачи, при неправильном определении баланса белого;
- определение и подчеркивания контуров изображения;
- коррекция дисторсии;
- устранение шумов;
- устранение хроматических аберраций;
- и др.

В современном мире существуют программные пакеты, которые позволяют устранять вышеприведенные дефекты. Но это требует участие человека, который является экспертом в области обработки изображений и обладающим знаниями работы в данных программных пакетах. Истоки современных методов обработки изображений можно найти в теории обработки сигналов [12].

Таким образом, существует потребность в применении алгоритмов, которые позволяют без привлечения эксперта в области обработки изображений, в автоматическом режиме обрабатывать изображение, в зависимости от требований, предъявляемых к нему. Также в разных предметных областях алгоритмы обработки изображений встраиваются в цифровое оборудование, которое в автоматическом режиме обрабатывает полученное изображение [1].

Стоит отметить, что метод, который эффективно работает для улучшения изображения, например рентгеновского снимка, не обязательно будет эффективен для улучшения изображения снимков из космоса. Также, если для распознавания образов мы можем оценить

эффективность метода, исходя из правильности распознанных образов, то оценить качество метода улучшения изображения можно исходя из визуального сравнения оригинала и изображения-результата или применения существующих метрик. Оценка репрезентативности изображений, используемых для анализа, является отдельной научной проблемой [13].

Постановка задачи

Решением актуальной проблемы на сегодняшний день является коррекция яркости изображений, полученных цифровыми устройствами. Такие дефекты могут быть при неправильно выбранной экспозиции, использовании недостаточно светосильной оптики в условиях недостаточной освещенности, ошибки экспозамера в автоматическом режиме съемки цифровых фотокамер. В таком случае снимки получаются с неравномерным распределением яркости: либо в сторону темных пикселей, либо, наоборот, в сторону светлых. Для устранения подобных дефектов используются методы линейной и нелинейной коррекции изображения.

Еще одно частое явление на снимках полученных цифровыми фото-устройствами является появление шумов на изображении. В основном это связано со спецификой устройства цифрового оборудования. Матрица, на которую проецируется изображение, может иметь дефекты, т.е. на ней могут быть пиксели которые не работают или пиксели, которые завышают сигнал. Также в условиях недостаточной освещенности шума на фото будет больше. Для устранения подобных дефектов используются методы фильтрации изображения, например медианная фильтрация.

Рассмотрим базовые методы обработки изображений, проведем их анализ, выявим области применения и определим их достоинства и недостатки.

Для визуального анализа эффективности методов обработки изображений, будем

использовать, в основном, изображение, приведенное на рисунке 1 (фото автора), полученное в условиях недостаточного освещения. На фото присутствуют дефекты в виде смещения яркости пикселей в сторону темных, а также большое количество шумов на изображении. За видимым объектом съемки находятся стены, которых не видно на фото, по причине слабой оптики и неправильно выбранной экспозиции.



Рисунок 1 – Исходное изображение

1. Гистограммные методы

Сначала рассмотрим гистограммные методы [2] для регулировки яркости изображения, такие как линейная и нелинейная коррекция.

1.1 Линейная коррекция.

В настоящее время метод линейной коррекции («Линейное растяжение»), применяется для изображений, яркость пикселей которого неравномерно распределена по шкале яркостей [3]. Могут отсутствовать темные и яркие пиксели, т.е. узкий диапазон яркостей со средней интенсивностью. Может быть такой вариант, при котором пиксели распределяются по всему диапазону, но основная масса сосредоточена в каком-то узком диапазоне. Так как яркость пикселя принято измерять шкалой от 0 до 255, принимаем за 0 пиксель с минимальным значением яркости, а за 255 пиксель с максимальной яркостью. При линейной коррекции используется линейное поэлементное преобразование [3]:

$$y = a * x + b \quad (1)$$

Преобразования яркости каждого пикселя производятся по формуле [3]:

$$y = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} (y_{max} - y_{min}) + y_{min} \quad (2)$$

где y – новое значение яркости, x – яркость исходного пикселя, x_{min} , x_{max} – минимальная и максимальная яркости исходного изображения, y_{min} и y_{max} – минимальное и максимальное значение диапазона яркостей.

На рисунке 1 приведен результат работы данного метода обработки изображения (фото автора). Результаты обработки изображений, гистограммы и графики, приведенные в данной статье, получены в графическом пакете Adobe Photoshop.

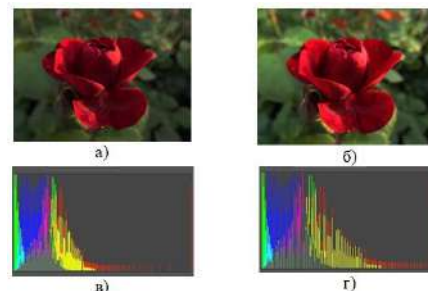


Рисунок 1 – Результат работы линейной коррекции

На рисунке 4.а приведено исходное изображение, а на рисунке 4.в - его гистограмма. Видно, что исходное изображение темное, и большинство пикселей сосредоточены в начальном диапазоне яркостей. После применения линейной коррекции полученное изображение приобрело вид, приведенный на рисунке 4.б, а его гистограмма - на рисунке 4.г. Видим, что яркости пикселей принадлежат всему диапазону от 0 до 255.

Стоит отметить, что для цветовой модели RGB [4], преобразование нужно выполнять для каждого из этих трех каналов (красного, зеленого, синего). На рисунке 2 приведены гистограммы для каждого из каналов исходного (рис. 2.а) и результирующего изображения (рис. 2.б).

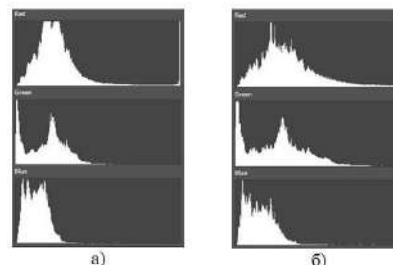


Рисунок 2 – Гистограммы каналов исходного и результирующего изображения

Эффективность данного метода прямо зависит от исходного изображения, от равномерности распределения яркости пикселей и от присутствия на изображении самых ярких и темных пикселей диапазона.

Достоинством данного метода является то, что данный алгоритм не делает качество изображения хуже, поэтому он был встроен во многие графические редакторы и цифровую фотоаппаратуру.

Недостатком данного метода является неэффективность преобразования исходного изображения, если на нем присутствуют пиксели с максимальной и минимальной яркостью. В таком случае данный метод не изменит исходное изображение. Для таких изображений

применяется метод нелинейной коррекции. Продемонстрируем этот эффект на примере.

На рисунке 3 приведен пример работы метода для изображения, у которого есть пиксели с минимальной и максимальной яркостью.

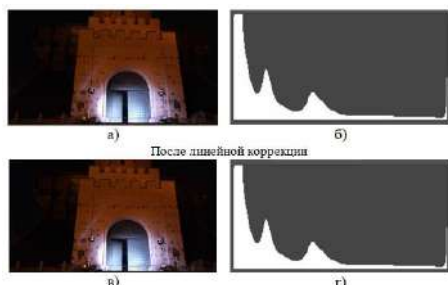


Рисунок 3 – Неэффективная работа метода линейной коррекции

Как видно из результирующего изображения и гистограммы на рисунке 3, метод линейной коррекции практически не изменил исходное изображение.

1.2 Нелинейная коррекция.

Смысл нелинейной коррекции заключается в растягивании диапазона темных пикселей или сужение светлых. Данный метод устраняет недостатки, присущие методу линейной коррекции изображения. На рисунке 4 приведен пример нелинейной функции преобразования изображения. Этот график можно задать произвольного вида, исходя из исходного изображения и желаемого результата. Например, в графическом пакете Adobe Photoshop существует такая возможность, с помощью меню Image -> Adjustment -> Curves [5].

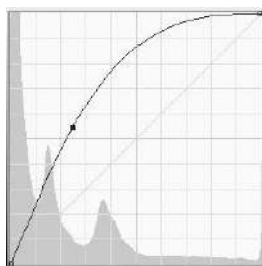


Рисунок 4 – График нелинейной коррекции изображения

Применив функцию, график преобразования интенсивности пикселей которой изображен на рисунке 4, получили изображение, приведенное на рисунке 5.в.

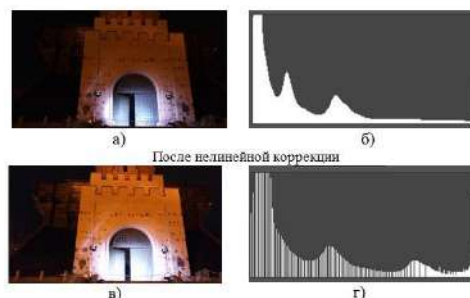


Рисунок 5 – Результат нелинейной коррекции

Как видим изображение стало светлее и диапазон яркостей пикселей растянулся к более светлому (рис. 5.г).

Существуют известные и широко распространенные методы нелинейной коррекции: гамма-коррекция и логарифмическая коррекция [6]. Большинство задач можно решить этими методами, подобрав оптимальные параметры.

1.2.1 Гамма-коррекция

Одним из самых распространенных методов для обработки изображения является гамма-коррекция. Он является неотъемлемой составляющей работы телевизоров, мониторов и другой цифровой техники. Связано это с тем, что человеческий глаз и цифровая камера устроены по-разному. Человеческий глаз более чувствителен к изменениям темных оттенков. Коррекция цвета пикселя производится по формуле[4]:

$$y = c * x^\gamma \quad (3)$$

где y – новая интенсивность пикселя, x – исходная интенсивность пикселя, c, γ – константы, подбираемые исходя из требований к результату. На рисунке 6 приведен результат обработки изображения гамма-коррекцией, при $\gamma=1,5$ и $c=1$.

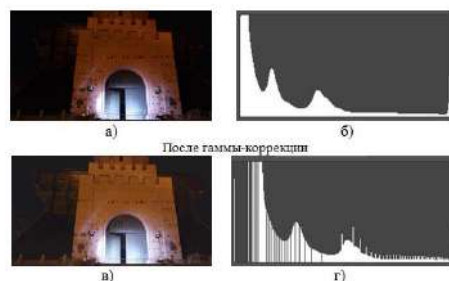


Рисунок 6 – Результат работы гамма-коррекции

Достоинствами данного метода является высокая скорость преобразования, что позволяет преобразовывать изображения динамически, например, при выводе на экран монитора. К недостаткам метода следует отнести появление шумов в тенях.

1.2.2 Логарифмическая коррекция

Целью данного метода является сжатие динамического диапазона при визуализации данных.

Общий вид логарифмического преобразования, выражается формулой [4]:

$$s = c * \log(1 + x) \quad (4)$$

где c – константа, подбираемая согласно требованиям к выходному изображению, x – яркость пикселя исходного изображения.

На рисунке 7.а отобрано исходное изображение и его гистограмма, а на рисунке 7.б показан результат работы логарифмической коррекции исходного изображения, при $c = 30$.

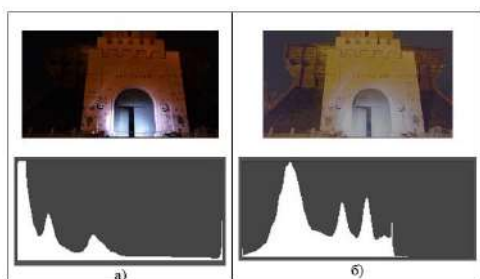


Рисунок 7 – Результат работы логарифмического преобразования

Рассмотренные методы нелинейной коррекции являются достаточно популярными и эффективными. Главной задачей остается подбор таких коэффициентов в вышеприведенных формулах, при которых качество выходного изображения будет оптимальным.

1.3 Шумоподавление

Сегодня современные цифровые технологии развиваются быстрыми темпами. Цифровые камеры нового поколения обладают качественной оптикой и матрицами. Но качество фото зависит не только от оборудования, а и от освещения, умения пользователя выбрать правильный режим съемки и экспозиции. Однако существуют такие виды дефектов, которые не всегда зависят от пользователя. К таким дефектам относится шум.

Причины возникновения шумов:

- дефекты матриц;
- загрязнение или повреждение оптического элемента;
- потеря при преобразовании полученного изображения в определенный графический формат.

Различают два класса шума изображений [6]:

- «Соль и перец»;
- Гауссов шум.

Первый вид шума связан с потерей информации и состоит из случайных черных и белых пикселей. Суть Гауссова шума состоит из колебания яркости, распределенной по нормальному закону, т.е. яркость каждого пикселя – это сумма настоящего пикселя плюс шум в этой точке [6].

Для уменьшения шума изображения используются методы фильтрации. Методы фильтрации бывают пространственными и частотными. Рассмотрим пространственные методы фильтрации.

2. Пространственная фильтрация

Простейшим видом фильтрации является линейная фильтрация.

Суть метода состоит в получении усредненного значения яркости пикселя из окрестности, задаваемой матрицей размера $m*n$ [6]:

$$g(x, y) = \sum_s \sum_t w(s, t) * f(x + s, y + t) \quad (5)$$

где s, t – координаты элементов маски относительно ее центра (в центре $s = t = 0$).

Также данную операцию называют сверткой [6]:

$$(f * g)(m, n) = \sum_{k,l} f(m - k, n - l)g(k, l) \quad (6)$$

где f – функция яркости изображения, а g – маска фильтра.

На рисунке 7 приведен результаты работы свертки изображения матрицей размером $5*5$, все элементы которой равны 1.



Рисунок 7 – Результат свертки изображения

Нелинейная фильтрация

Недостатки линейной фильтрации, а именно сглаживание резких перепадов яркости на изображении, могут быть устранены методами нелинейной фильтрации, например медианным фильтром [6]. Этот метод оптимален для шумов импульсного типа, которые представлены белыми и черными пикселями.

Суть метода заключается в усреднении яркости из выбранной окрестности. Рассмотрим алгоритм работы метода на практике. На рисунке 8 представлен фрагмент исходного изображения в виде ячеек со значениями яркостей. Окно фильтра

выбрано размером 3*3. Среднее значение яркости и будет новым значением яркости.

54	128	7	56	109	54	128	7	47	60	23	17	69	82	54	128	7	56	109			
47	60	23	47	99	Сортировка												47	54	23	47	99
17	69	82	19	48	7	17	23	47	54	60	69	82	128	17	69	82	19	48			
16	70	79	29	36	54 – новое значение среднего элемента окна 3*3												16	70	79	29	36
16	70	79	32	46	Исходное изображение												16	70	79	32	46
					Результат работы																

Рисунок 8 – Пример работы алгоритма медианного фильтра

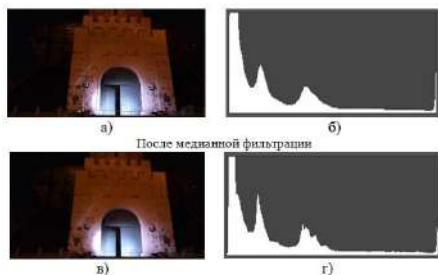


Рисунок 9 – Результат работы медианного фильтра

Таблица 1 – Достоинства и недостатки анализируемых методов обработки изображений

Метод обработки	Применение	Достоинства	Недостатки
Линейная коррекция	Применяется для изображений, яркость пикселей которых неравномерно распределена по шкале яркостей. Могут отсутствовать темные и яркие пиксели, т.е. узкий диапазон яркостей со средней интенсивностью.	Не делает качество изображения хуже, поэтому он был встроен во многие графические редакторы и цифровую фотоаппаратуру.	Неэффективность преобразования исходного изображения, с присутствующими пикселями максимальной и минимальной яркости. В таком случае данный метод практически не изменит исходное изображение.
Гамма-коррекция	Является неотъемлемой составляющей работы телевизоров, мониторов и другой цифровой техники. Адаптирует яркость пикселей к светочувствительности глаза человека.	Скорость преобразования, что позволяет преобразовывать изображение динамически, например при выводе на экран монитора.	Появление шумов в тенях.
Логарифмическая коррекция	Служит для сжатия динамического диапазона при визуализации данных.	Эффективно сжимает динамический диапазон изображений, имеющих большой разброс яркости пикселей.	Требует подбора коэффициентов для достижения оптимальных результатов обработки изображения.
Пространственная фильтрация	Применяется для изображений с шумом. Яркость пикселя усредняется в окрестности, задаваемой матрицей размера $m*n$.	Хорошо применим в случае распределенных шумов.	Неэффективное сглаживание резких перепадов яркостей на изображении. Размытие границ объектов на изображении.
Медианный фильтр	Применяется для изображений с содержанием шумов импульсного типа, которые представлены белыми и черными пикселями.	Сглаживание резких перепадов яркости на изображении. Эффективно устраняет шумы импульсного типа.	Для сохранения резких перепадов яркостей пикселей, а также для сохранения нужных деталей на результирующем изображении, нужно подбирать размер сглаживающей апертуры.

На рисунке 9 приведен результат работы данного фильтра.

Как видно из рисунка, медианная фильтрация эффективно справляется с импульсным шумом. К достоинствам данного алгоритма можно отнести простоту реализации, эффективное устранение импульсного шума по всему изображению, сохранение без искажений резких границ объектов. К недостаткам метода, при увеличении размера окна, можно отнести размытие резких изменений сигнала и скачков.

3 Сравнение методов

В таблице 1 приведены достоинства и недостатки методов обработки изображений, на основании их анализа и результатах обработки конкретных изображений.

Заключення

Актуальними на сьогодні остаються задачі, пов'язані з корекцією яркості та усунення шуму на зображеннях. Необхідність їх рішення виникає достатньо часто із-за неідеальності компонентів цифрового фотообладнання, таких як оптичний елемент і матриця, а також неідеальності алгоритмів постобробки. Останні зазвичай мають недостатню ефективність при різних умовах і, в разі певного класу зображень, для досягнення прийнятних результатів і зменшення побічних ефектів обробки потребують модифікації.

Існує багато відомих базових методів обробки зображень, які застосовуються в залежності від вимог до вихідного зображення. У статті проаналізовані базові алгоритми обробки зображень, такі як лінійна і нелінійна корекція, ступінчаста і логарифмічна корекція зображення. Розглянуті методи усунення шуму, такі як лінійна і медіанна фільтрація. Виконано аналіз кожного з методів, наведено переваги і недоліки кожного з них.

Проведений аналіз дозволяє на основі існуючих методів покращення якості зображень визначити напрямки їх модифікації, або їх комбінації, для більш

ефективного покращення якості зображень певного класу з певної предметної області, наприклад в медицині.

На основі проведеного аналізу алгоритмів обробки зображень були визначені наступні задачі подальших досліджень:

- удосконалити механізми і методи, можливо як модифікації або комбінації існуючих методів обробки зображень, для більш ефективного покращення якості зображень певного класу з певної предметної області, виходячи з проблематики і потреб кінцевого користувача;

- виконати об'єктивну формальну оцінку якості зображення до і після обробки запропонованим механізмом і методом, для аналізу ефективності запропонованого методу покращення якості зображення [14];

- оцінити придатність модифікованих методів для зображень певного класу з певної предметної області;

- розробити тестове програмне забезпечення, що реалізує запропоновані механізми і методи, для покращення якості зображень певного класу з певної предметної області.

Список літератури

1. Kehtarnavaz N. Gamadia N. Real-Time Image and Video Processing / N. Kehtarnavaz, N. Gamadia – Morgan & Claypool, 2006. – 108 с.
2. Bailey D. Histogram Operations / D. Bailey – N. Y.: Wiley-IEEE Press, 2011. – 696 с.
3. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 352 с.
4. Гонзалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонзалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
5. Петров, М.Н. Компьютерная графика. Учебник (+ CD-ROM) / М.Н. Петров, В.П. Молочков. - М.: СПб: Питер, 2011. - 812 с.
6. Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. Цифровые изображения: от получения до обработки / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. — 202 с.
7. Шапиро Л., Компьютерное зрение / Л.Шапиро, Дж.Стокман – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
8. Форсайт Д., Компьютерное зрение. Современный подход / Д.Форсайт, Ж.Понс – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
9. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski – London: SpringerVerlag, 2011 с.
10. Dhawan A. Image Processing and Enhancement / A. Dhawan – N. Y.: Wiley-IEEE Press, 2011. – 400 с.
11. Marques O. Image Processing Basics / O. Marques – N. Y.: Wiley-IEEE Press, 2011. – 696 с.
12. Pragnan Chakravorty. What Is a Signal? [Lecture Notes], IEEE Signal Processing Magazine, vol. 35, no. 5, pp. 175-177, Sept. 2018. <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.2832195>.
13. Zendel O., Murschitz M., Humenberger M., Herzner W. How Good Is My Test Data? Introducing Safety Analysis for Computer Vision/ O.Zendel - International Journal of Computer Vision, December 2017, Volume 125, Issue 1–3, pp 95–109.
14. Xiangfei KongQingxiong Yang. No-Reference Image Quality Assessment for Image Auto-Denoising. International Journal of Computer Vision, May 2018, Volume 126, Issue 5, pp 537–549.

References

1. Kehtarnavaz N. Gamadia N. Real-Time Image and Video Processing / N. Kehtarnavaz, N. Gamadia - Morgan & Claypool, 2006. - 108 p.
2. Bailey D. Histogram Operations / D. Bailey - N. Y.:Wiley-IEEE Press, 2011. - 696 p.
3. Gruzman IS Digital processing of images in information systems: Textbook. allowance / I.S. Gruzman, V.S. Kirichuk, V.P. Kosykh and others - Novosibirsk: Izd-vo NNTU, 2003. - 352 p.
4. Gonzales R. Digital image processing / R. Gonzales, R. Woods. - Moscow: Technosphere, 2012. - 1104 p.
5. Petrov, M.N. Computer graphics. Textbook (+ CD-ROM) / M.N. Petrov, V.P. Molochkov. - Moscow: St. Petersburg: Peter, 2011. - 812 p.
6. Starovoitov VV, Golub Yu.I. Digital images: from receipt to processing / V.V. Starovoitov, Yu.I. Golub. - Minsk: OIPI NAS of Belarus, 2014. - 202 p.
7. Shapiro L., Computer vision / L. Shapiro, J. Stockman - M.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2006. - 752p.
8. Forsythe D., Computer vision. The modern approach / D. Forsyth, J. Pons - M.: Williams, 2004. - 928 p.
9. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski - London: SpringerVerlag, 2011 p.
10. Dhawan A. Image Processing and Enhancement / A. Dhawan - N. Y.:Wiley- IEEE Press, 2011. - 400 p.
11. Marques O. Image Processing Basics / O. Marques - N. Y.:Wiley- IEEE Press, 2011. - 696 p.
12. Pragnan Chakravorty What Is a Signal? [Lecture Notes], IEEE Signal Processing Magazine, vol. 35, no. 5, pp. 175-177, Sept. 2018. <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.2832195>.
13. Zende O., Murschitz M., Humenberger M., Herzner W. How Good Is My Test Data? Introducing Safety Analysis for Computer Vision/ O.Zende - International Journal of Computer Vision, December 2017, Volume 125, Issue 1-3, pp 95-109.
14. Xiangfei KongQingxiong Yang. No-Reference Image Quality Assessment for Image Auto-Denoising. International Journal of Computer Vision, May 2018, Volume 126, Issue 5, pp 537-549.

Надійшла до редакції 10.07.2018

E.V. PAVLOVSKIY

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

ANALYSIS OF BASIC METHODS OF IMAGE PROCESSING

The solution to the actual problem today is the correction of the brightness of images obtained by digital devices. Such defects can occur when the exposure is incorrectly selected, using insufficiently high-speed optics in low-light conditions, an error in the exposure metering in the automatic shooting mode of digital cameras. In this case, the images are obtained with an uneven distribution of brightness: either towards the dark pixels, or vice versa, toward the light ones. To eliminate such defects, methods of linear and nonlinear correction of images are used.

Another frequent phenomenon in the images obtained by digital photo-devices is the appearance of noise in the image. This is mainly due to the specificity of the device of digital equipment. The matrix on which the image is projected may have defects, i.e. it can have pixels that do not work or pixels that overstate this signal. Also, in conditions of insufficient illumination, the noise in the photo will be greater. To eliminate such defects, image filtering methods are used, for example, median filtering.

The article contains experimental results which illustrate performing of different images transformations, advantages and disadvantages of the analyzed image processing methods. The analysis allows us to determine the direction of their modification, or a combination of them, on the basis of existing methods, in order to more effectively improve the quality of images of a particular class from a specific subject area, for example in medicine.

Based on the analysis of image processing algorithms, the tasks for further research were identified.

Keywords: *linear correction, nonlinear correction, gamma correction, logarithmic correction, spatial filtration, nonlinear filtering.*

Є. В. ПАВЛОВСЬКИЙ

Донецький національний технічний університет, Покровськ, Україна

АНАЛІЗ БАЗОВИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Рішенням актуальної проблеми на сьогоднішній день є корекція яскравості зображень, отриманих цифровими пристроями. Такі дефекти можуть вийти при неправильно обраній експозиції, використанні недостатньо потужної оптики в умовах недостатньої освітленості, помилки визначення експозиції в автоматичному режимі зйомки цифрових фотокамер. В такому випадку знімки виходять з нерівномірним розподілом яскравості: або в бік темних пікселів, або навпаки, в бік світлих. Для усунення подібних дефектів використовуються методи лінійної та нелінійної корекції зображень.

Ще одне часте явище на знімках отриманих цифровими фото-пристроями є поява шумів на зображенні. В основному це пов'язано зі специфікою пристрою цифрового обладнання. Матриця, на яку проектується зображення може мати дефекти, тобто на ній можуть бути пікселі які не працюють або пікселі, які завищують справжній сигнал. Також в умовах недостатньої освітленості шуму на фото буде більше. Для усунення подібних дефектів використовуються методи фільтрації зображення, наприклад медіанна фільтрація.

Ключові слова: *лінійна корекція, нелінійна корекція, гамма-корекція, логарифмічна корекція, просторова фільтрація, нелінійна фільтрація.*