

УДК 621.396

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА SLANE ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОВ

В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин

**Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязинский филиал,
141120, Московская область, г. Фрязино, пл. академика Введенского, д.1.**

Статья поступила в редакцию 13 октября 2017 г.

Аннотация. Различимость объектов на изображениях, полученных на открытой местности, уменьшается при наличии гидрометеоров в атмосфере. Степень влияния гидрометеоров на изображение объектов не одинакова. Это может вызвать появление ложных образований (артефактов) на обработанном методом SLANE изображении. В этой работе предлагается способ, устраняющий такие артефакты. Целью данной работы является увеличение степени различимости объектов на искаженном гидрометеорами изображении. Для достижения этого сравниваются результаты работы метода SLANE с использованием разных форматов (RGB, HSV, CIELAB). Дополнительно рассмотрен случай обработки изображений с искажениями, нарушающими цветовой баланс. В работе показано, что использование для искаженного изображения предварительной обработки позволяет компенсировать возможные артефакты, возникающие в результате применения метода SLANE. Демонстрируется, что применение для цветных RGB изображений метода SLANE к каждой цветовой компоненте изображения приводит к меньшей зависимости от цвета тумана (дымки, пыли, освещения) (в сравнении с применением метода SLANE к HSV изображению).

Ключевые слова: гидрометеоры, цифровые изображения, динамический диапазон, усиление контраста, улучшение различимости объектов.

Abstract. The differentiation of objects on the images obtained in the open area, decreases with the presence of hydrometeors in the atmosphere. The degree of

hydrometeors influence on the image of objects is not the same. It can cause false images (artifacts) to appear on the CLAHE-processed image. In this paper, a method is proposed that eliminates such artifacts. The purpose of this work is to increase the degree of the distinguishability of objects on the image which was distorted by hydrometeors. To achieve this goal, the results of the CLAHE method are compared with each other when different formats (RGB, HSV, and CIELAB) are used. In addition, the case of processing images with distortions, destroying the color balance, is considered.

The paper shows that the usage of preprocessing for a distorted image, allows compensating for possible artifacts, arising from the application of the CLAHE method. It is demonstrated that applying the CLAHE method for color RGB images to each color component of the image results in less dependence on the color of the fog (haze, dust, light) (compared to applying the CLAHE method to the HSV image).

Key words: hydrometeors, digital images, dynamic range, enhancement of contrast, improvement of distinguishability of objects.

1. Введение

Присутствие гидрометеоров в атмосфере ухудшает качество изображений. Одним из методов повышения различимости объектов на изображении является метод эквализации (выравнивание гистограммы) Histogram Equalization (HE) [1].

Этот метод обычно увеличивает глобальный контраст изображения, особенно, когда используемые данные изображения представлены близкими значениями контраста. Это позволяет областям более низкого локального контраста получить более высокий контраст. Выравнивание гистограммы позволяет эффективно распределять наиболее часто используемые значения интенсивности.

Недостатком метода является то, что он является неизбирательным. Это может увеличить контраст фонового шума, уменьшая полезный сигнал.

Выравнивание гистограммы часто производит нереалистичные эффекты на изображении.

Модификацией этого метода является метод CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [2-6]. Этот метод позволяет успешно обрабатывать довольно широкий класс изображений. Однако, в ряде случаев при обработке изображений искаженных гидрометеорами (дымка, туман, морось, дождь, снег) этот метод дает изображения с присутствием артефактов и шумов. Следует отметить, что эти особенности CLAHE проявляются в случае достаточно сильных искажений изображения, вызванных гидрометеорами, влияющими с разной степенью на отдельные участки изображения.

2. Сравнение результатов методов HE и CLAHE. Модификация CLAHE

Метод HE выравнивает гистограмму всего изображения. Поэтому, если изображение состоит из частей с существенно различающимися гистограммами, то применение метода HE может не привести к приемлемому результату.

На рис.1 приведено изображение искаженное туманом и изображение как результат метода HE. На рис.2 приведены соответствующие рис.1 графики гистограмм яркости.



Рис.1. Изображения : а) – исходное, б) результат метода HE.

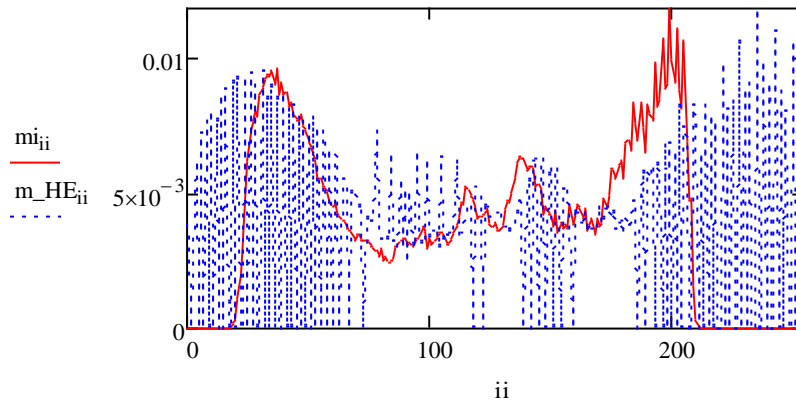


Рис.2. Гистограммы яркости: красная линия - рис.1а, синяя линия – рис.1б.

Сравнение рис.1 а-б позволяет сделать вывод о незначительном изменении качества после воздействия метода HE, несмотря на значительное изменение гистограмм яркости (рис.2).

Для использования метода CLАНЕ изображение делится на отдельные прямоугольные непересекающиеся плитки. Для каждой плитки вычисляется интегральная гистограмма - CDF. Эта интегральная гистограмма получается с учетом выбранного ограничения P для исходной неинтегральной гистограммы яркостей плитки [2]. Для каждого пикселя яркостью Y находят четыре ближайших плитки. С помощью известных значений CDF, соответствующих Y , получают 4 значения эквализованной яркости Y_e . Использование билинейной интерполяции и четырех значений Y_e позволяет получить искомое значение яркости Y_{clane} для выбранного пикселя [2]. Метод CLАНЕ выравнивает гистограмму для всего изображения с учетом гистограмм области из четырех плиток, окружающих каждый пиксель. Из-за того, что гистограммы плиток, составляющих изображение, вычисляются только один раз, метод CLАНЕ достаточно быстрый для использования в видеоустройствах, работающих в реальном времени [7].

На рис.3 приведены изображения, полученные с помощью метода CLАНЕ с различными величинами порога P из изображения рис.1а. Исходное изображение рис.1а было разбито на $n=8$ плиток по горизонтали и по вертикали.

а) $P=1$ б) $P=0.025$

Рис.3. Изображения, полученные с помощью метода CLANE, с различными величинами порога P из рис.1а: а) – $P=1$, б) $P=0.025$.

На изображениях, приведенных на рис.3, видны артефакты в виде горизонтальных полос. Уменьшение величины порога P приводит к значительному уменьшению яркости артефактов. К сожалению, синхронно с артефактами уменьшается и контраст объектов на изображении. Отметим, что количество артефактов – полос совпадает с $n=8$ – величиной разбиения рис.1а по вертикали.

На рис.4а представлено изображение усредненной по величине плитки яркости Y_m . На рис.4б представлено изображение нормированной разности $Y - Y_m$, где Y – яркость изображения на рис.1а. На рис.4в представлен график зависимости Y_m от вертикальной координаты.

На рис.4а и графике на рис.4в видно, что Y_m увеличивается с увеличением вертикальной координаты. Этим и объясняется появление артефактов в виде горизонтальных полос.

Если использовать для каждой плитки интегральную гистограмму яркости CDF для эквализации, то полученная яркость будет лежать в пределах $0 - 255$. Это верно для каждой плитки. В то же время яркость для каждой плитки лежит в своих пределах изменения Y . Причем эти пределы в среднем увеличиваются с увеличением вертикальной координаты, что иллюстрирует

график на рис.4в. Поэтому при переходе от одной плитки к следующей по вертикали наблюдается скачок яркости. Конечно, использование билинейной интерполяции в CLANE [2] значительно сглаживает эти артефакты.

Если использовать в качестве исходного изображения не изображение на рис.1а, а изображение на рис.4б, то артефакты в виде полос не появятся.

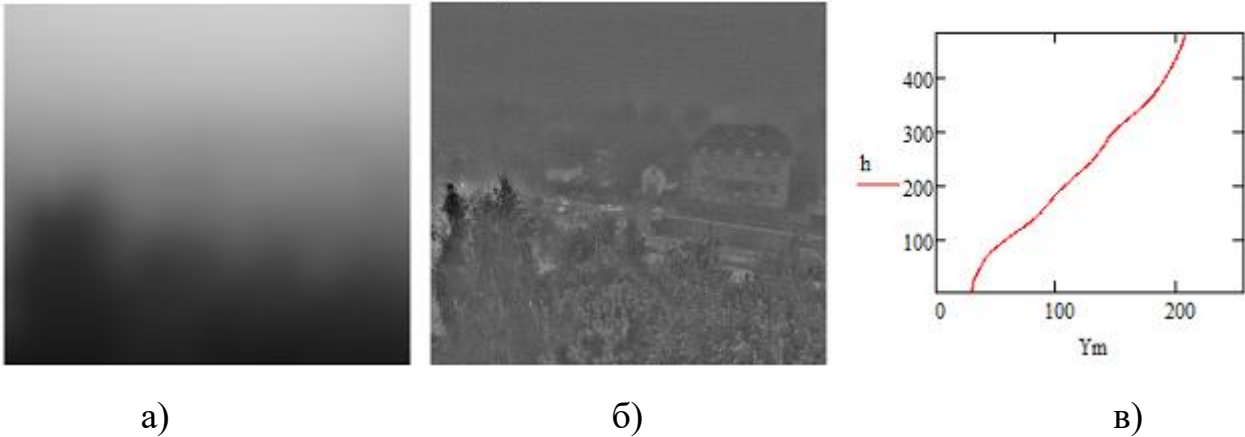


Рис.4. Изображения усредненной (рис.4а) и нормированной разности (рис.4б).

а) - усредненная по величине плитки яркость Y_m ;

б) - изображение нормированной разности $Y - Y_m$.

Y – яркость изображения на рис. 1а, Y_m - усредненная по величине плитки яркость.

На рис.5 приведены изображения, полученные с помощью метода CLANE с различными величинами порога P из изображения рис.4б.



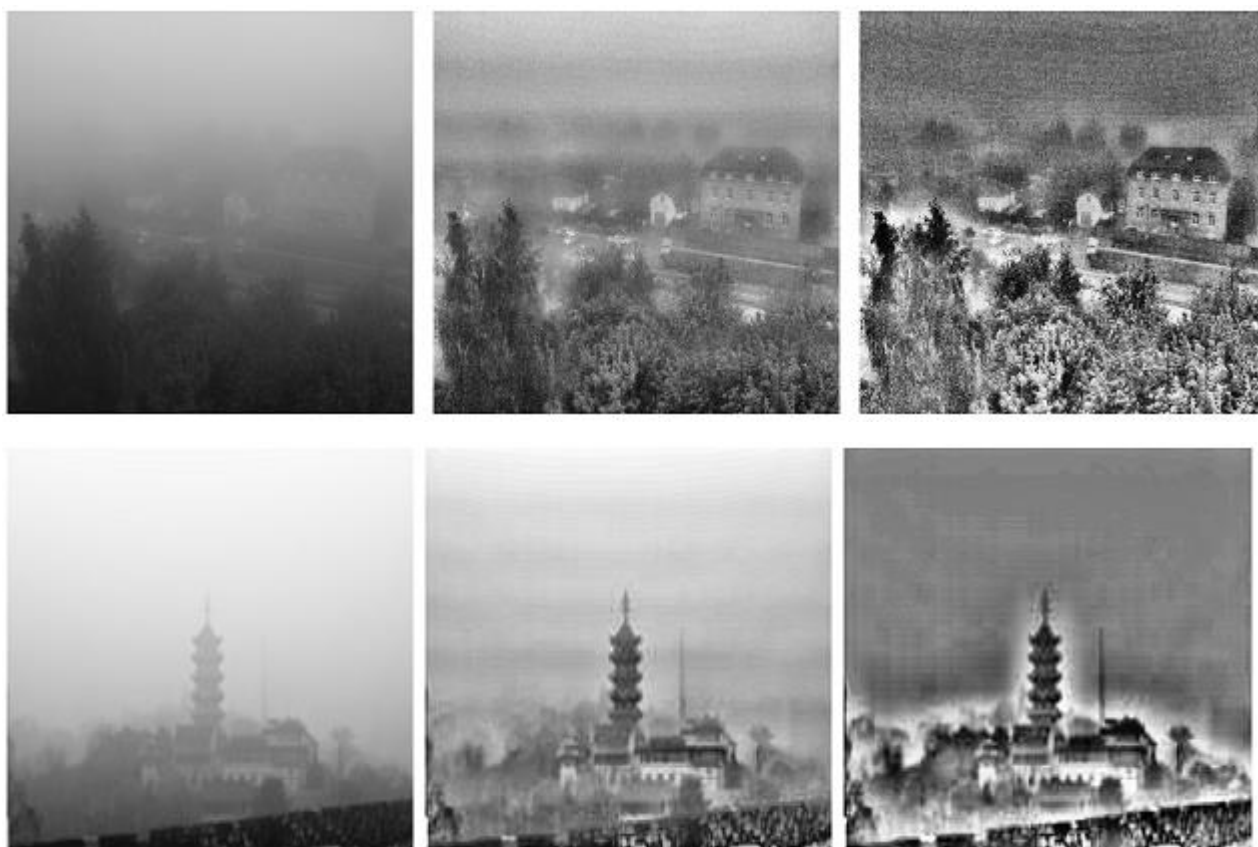
а) $P=1$

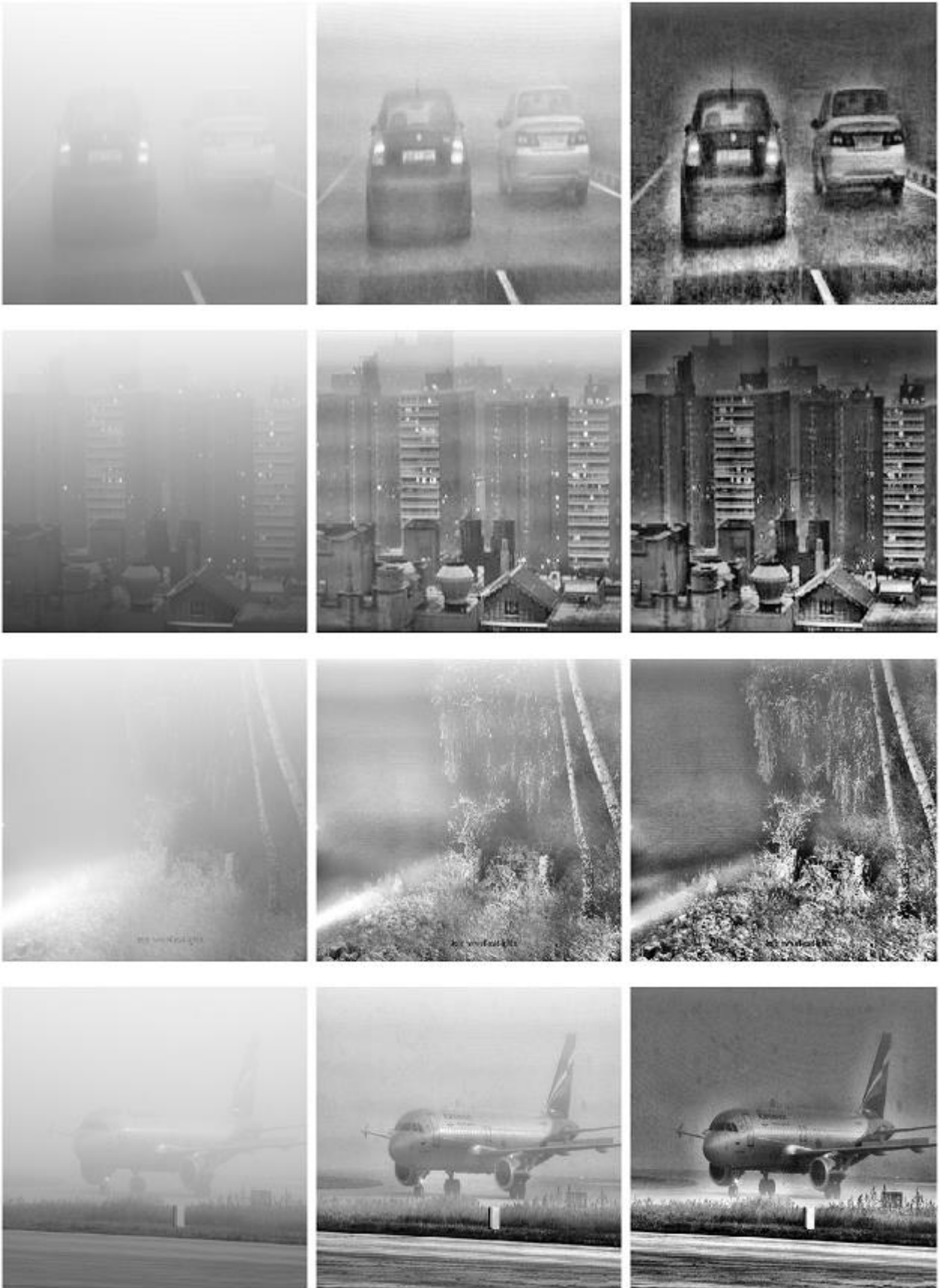
б) $P=0.025$

Рис.5. Изображения, полученные из рис.4б с помощью метода CLANE, с различными величинами порога P : а) – $P=1$, б) $P=0.025$.

На рис.5 отсутствуют артефакты в виде полос. Однако шум в верхней половине на изображениях рис.5а проявляется больше, чем на рис.3а. Это объясняется тем, что наличие артефактов маскировало проявление шума. Это проявление шума можно значительно уменьшить за счет уменьшения величины порога. На рис.5б ($P=0.025$) проявление шума уменьшено по сравнению с рис.5а ($P=1$). В то же время контраст изображений рис.5а и рис.5б практически одинаков.

На рис.6 представлен небольшой набор изображений. Левая колонка соответствует искаженным гидрометеорами изображениям. Правая и средняя колонки содержат изображения, полученные с помощью метода СЛАНЕ, с использованием и без использования усредненных по плиткам изображениям соответственно.





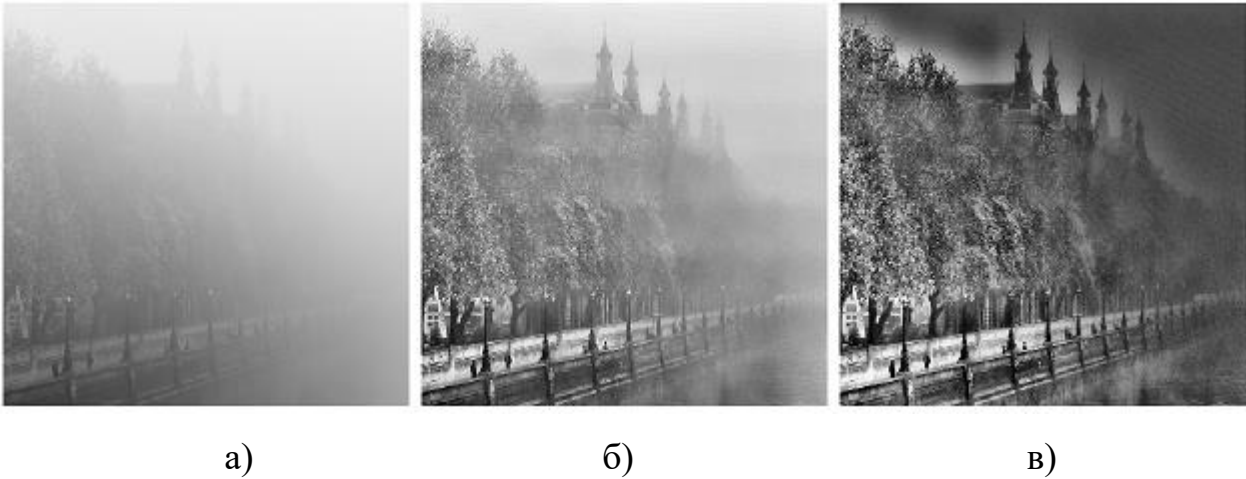


Рис.6. Набор изображений, иллюстрирующих работу метода CLANE. Левая колонка соответствует искаженным гидрометеорами изображениям. Правая и средняя колонки содержат изображения, полученные с помощью метода CLANE, с использованием и без использования усредненных по плиткам изображениям соответственно.

На изображениях средней колонки рис.6б часто присутствуют артефакты в виде горизонтальных полос. На изображениях правой колонки такие артефакты отсутствуют. Несмотря на то, что обработка всех изображений методом CLANE производилась при одной и той же величине порога $P=0.025$ результаты рис.6б заметно отличаются от изображений на рис.6в. Очевидно, что это является результатом предварительной обработки с использованием усредненной по величине плитки яркости Y_m .

3. Цвет в CLANE. Использование RGB, HSV и CIELAB

Использование CLANE для цветных изображений имеет свои особенности. Обычно [3,11] переводят RGB изображение в формат HSV или CIELAB с выделением яркостного канала. Затем применяют метод CLANE к этому яркостному каналу. И, наконец, возвращают изображению формат RGB.

Рассмотрим эту процедуру на примере формата HSV.

Формат HSV.

Создадим сначала «затуманенное» изображение, используя выражение (1)[10]:

$$I_i = trA + (1-t)A = (1-t(1-r))A \quad (1)$$

где I_i - яркость изображения в i - том пикселе; t, r - коэффициент пропускания атмосферы и коэффициент отражения излучения атмосферы объектом соответственно; A - яркость атмосферы. При вычислении используем $A=255, t=0.5$ (туман однородный).

На рис.7 представлены исходное (не затуманенное) и искаженное тестовым туманом изображения.



Рис.7. Исходное (не затуманенное) – (а) и искаженное тестовым туманом – (б) изображения.

На рис.8 представлены гистограммы для красной, зеленой и синей компонент изображений рис.7.

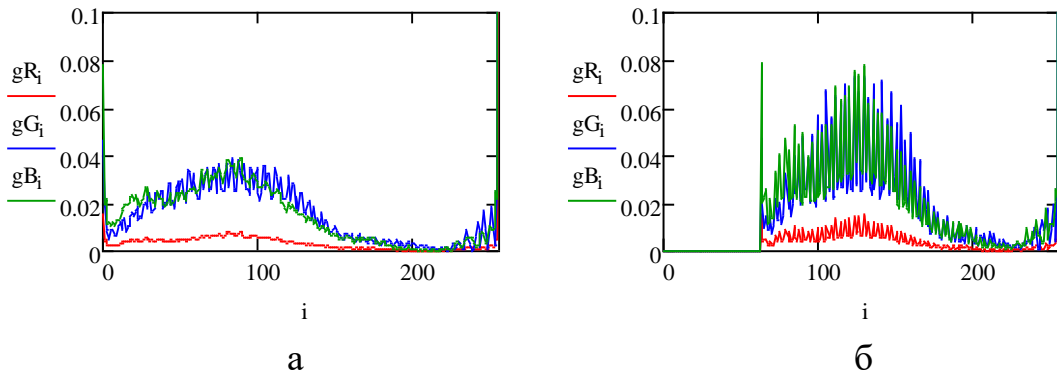


Рис.8. Графики нормированных гистограмм красной (красная линия), зеленой (зеленая линия) и синей (синяя линия) компонент изображений рис.7. (а) и (б) соответствуют рис.7а и рис.7б.

Графики на рис.8 хорошо иллюстрируют влияние тумана на поведение гистограмм цветных компонент изображения рис.7. Присутствие тумана вызывает резкое уменьшение гистограмм RGB компонент, соответствующих малым яркостям.

На рис.9 представлены гистограммы для формата HSV.

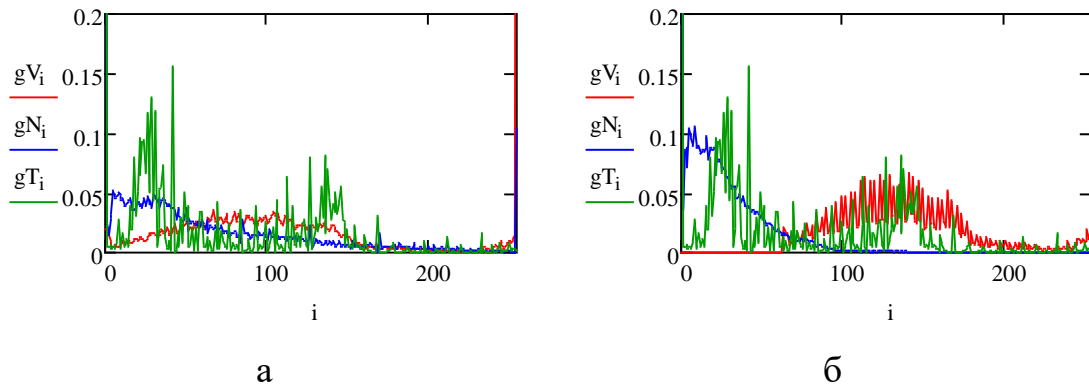


Рис.9. Графики нормированных гистограмм яркости (красная линия), насыщенности (зеленая линия) и цвета (синяя линия) HSV компонент изображений рис.7. (а) и (б) соответствуют рис.7а и рис.7б.

Графики, соответствующие HSV компоненте цвета (зеленая линия), практически одинаковые на рис.9а и рис.9б и не зависят от тумана. Наличие тумана (рис.7б) вызвало отсутствие яркостных компонент малой яркости на гистограмме рис.9б (красная линия). Одновременно туман привел к уменьшению насыщенности цвета большой величины (синяя линия). Поэтому при компенсации внесенных туманом искажений в изображение необходимо не только исправить яркостную компоненту, но и проделать это же с компонентой насыщенности цвета. Применим метод CLАНЕ к компонентам насыщенности и яркости искаженного туманом изображения рис.7б.

На рис.10 представлены изображения без тумана (а), с корректировкой CLАНЕ только яркости (б) и с корректировкой CLАНЕ как яркости, так и насыщенности (в).



Рис.10 представлены изображения без тумана (а), с корректировкой CLANE только яркости (б) и с корректировкой CLANE как яркости, так и насыщенности (в). Величинами порога для яркости $P=0.025$ и для насыщенности - $P=0.0125$

На рис.11 представлены гистограммы для формата HSV компонент насыщенности и яркости до и после метода CLANE.

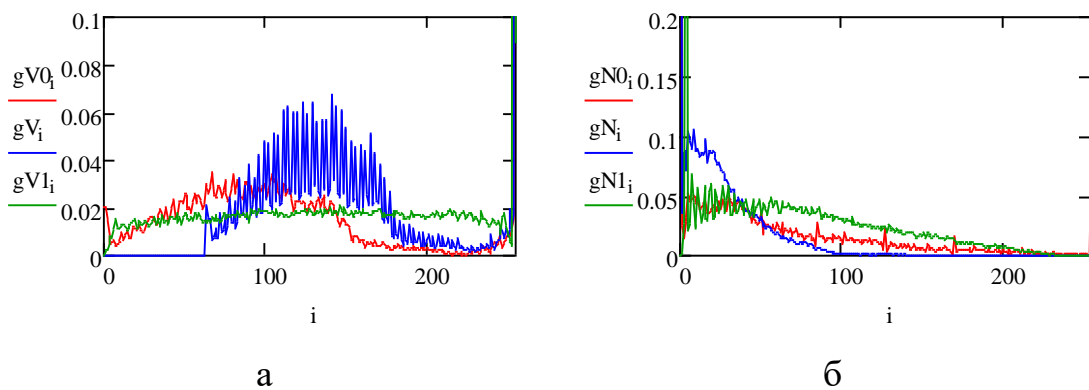


Рис.11. Графики нормированных гистограмм яркости (а) и насыщенности (б) HSV компонент изображений рис.7. (красная линия), (синяя линия) и рис.10в (зеленая линия).

Анализ рис.10-11 позволяет сделать вывод о необходимости коррекции насыщенности цвета в формате HSV при компенсации воздействия тумана на изображение.

Формат CIE LAB.

В этом формате Светлота (аналог яркости) задана координатой L (изменяется от 0 до 100, то есть от самого темного до самого светлого), хроматическая составляющая — двумя декартовыми координатами a и b . Первая обозначает положение цвета в диапазоне от зеленого до красного, вторая — от синего до желтого.

Согласно документации [11], переводят RGB изображение в формат CIE LAB с выделением канала Светлоты. Затем применяют метод CLAHE к этому каналу. И, наконец, возвращают изображению формат RGB.



Рис.12. Изображения: (а) и (б) неискаженное и искаженное туманом; (в) полученное методом CLAHE с форматом CIE LAB. Величина порога для светлоты $P=0.025$.

Сравнение изображений на рис.11-12 позволяет сделать вывод о том, что коррекция светлоты (в случае CIE LAB) приводит к увеличению контраста и не восстанавливает, а скорее уменьшает насыщенность цвета.

Формат RGB.

Рассмотрим результаты использования формата RGB в методе CLAHE при условии применения CLAHE к каждому цвету независимо от другого

цвета.

На рис.13 представлены изображения до воздействия тумана и после применения CLАНЕ с использованием форматов HSV и RGB.

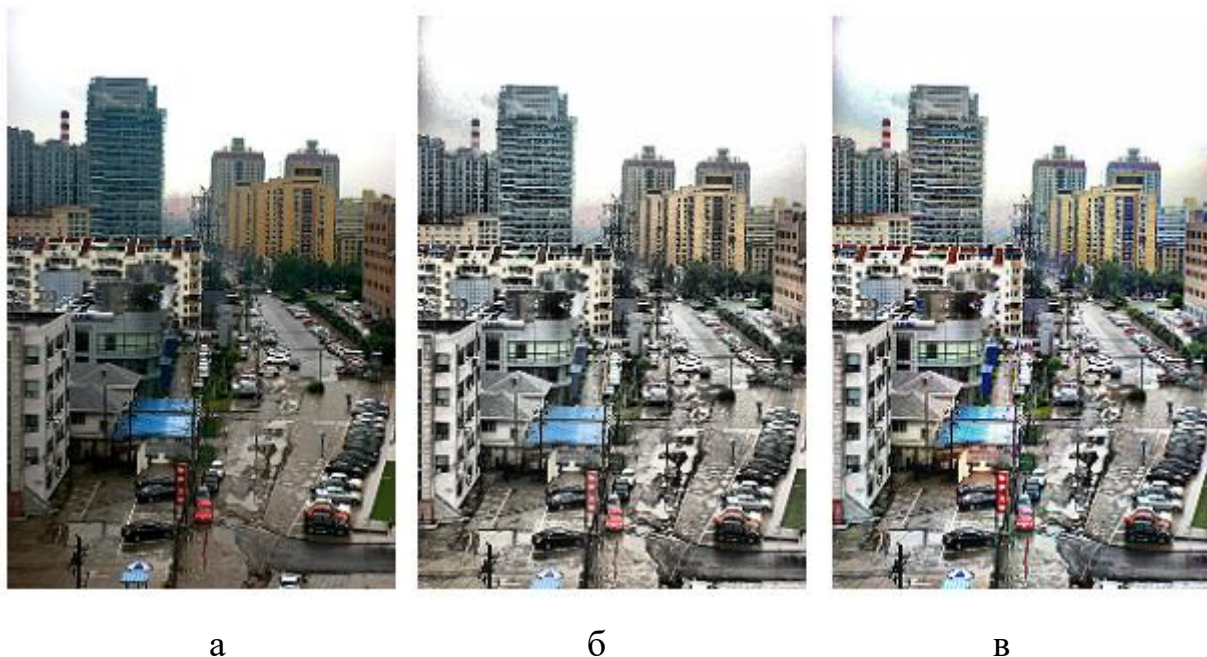


Рис.13 Изображения до воздействия тумана – (а) и после применения CLАНЕ с использованием форматов HSV –(б) и RGB –(в).

Сравнение изображений на рис.13 позволяет сделать вывод о том, что применение метода CLАНЕ с использованием формата RGB ($CLАНЕ_{RGB}$) и формата HSV ($CLАНЕ_{HSV}$) без эквализации насыщенности приводит к схожим результатам. Однако следует отметить, что использование $CLАНЕ_{RGB}$, на наш взгляд, предпочтительнее, поскольку результаты в этом случае менее зависят от цвета тумана (дымки, пыли, освещения).

На рис.14 представлены изображения искаженные цветной пылью (цветным освещением) и изображения, полученные после применения $CLАНЕ_{RGB}$ и $CLАНЕ_{HSV}$.

На рис.14 видно, что, несмотря на достаточно сильно нарушенный цветовой баланс на искаженных изображениях, изображения после применения $CLАНЕ_{RGB}$ выглядят лучше (рис.14д-е), чем в случае применения $CLАНЕ_{HSV}$ (рис.14в-г).

Поэтому далее мы будем рассматривать только $CLANE_{RGB}$.



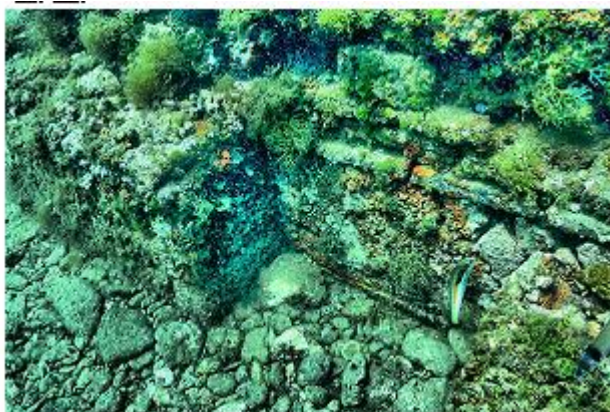
а



б



в



г



д



е

Рис.14 Изображения искаженные цветной пылью -(а), цветным освещением – (б)[б] и изображения, полученные после применения $CLANE_{RGB}$ –(д)(е) и $CLANE_{HSV}$ –(в)(г).

Ранее для не цветных изображений компенсация артефактов в виде полос производилась заменой исходного изображения на нормированную разность

исходного изображения и усредненной по величине плитки яркости Y_m . Для цветных изображений RGB алгоритм $CLANE_{RGB}$ изменится следующим образом.

Модифицированный алгоритм обработки RGB изображений методом CLANE ($CLANE_{mod_{RGB}}$).

1. Разбиение изображения на набор плиток одинакового размера.
 2. Вычисление усредненной по величине плитки яркости Y_{mc} .
 3. Вычисление усредненной по изображению яркости Y_{mgs} .
- Вычисление для каждого цвета разности $dY_{mc} = Y_{mc} - Y_{mgs}$. В отличие от не цветного случая, описанного выше, рекомендуем dY_{mc} уменьшить (например, в 0.75 раза). Это можно сделать для того, чтобы объекты на изображении, имеющие постоянную яркость не выглядели слишком темными.
4. Вычисление разности яркостей, где $c=R,G,B$.
 5. Вычисление для каждой плитки с учетом порога P гистограммы яркости и кумулятивной гистограммы яркости (CDF) для dY_c .
 6. Пользуясь CDF, полученной для каждого цвета, вычисляем новые компоненты RGB.
 7. Получаем цветное изображение RGB.

На рис.15 представлены изображения до обработки CLANE и после обработки $CLANE_{RGB}$ и $CLANE_{mod_{RGB}}$.

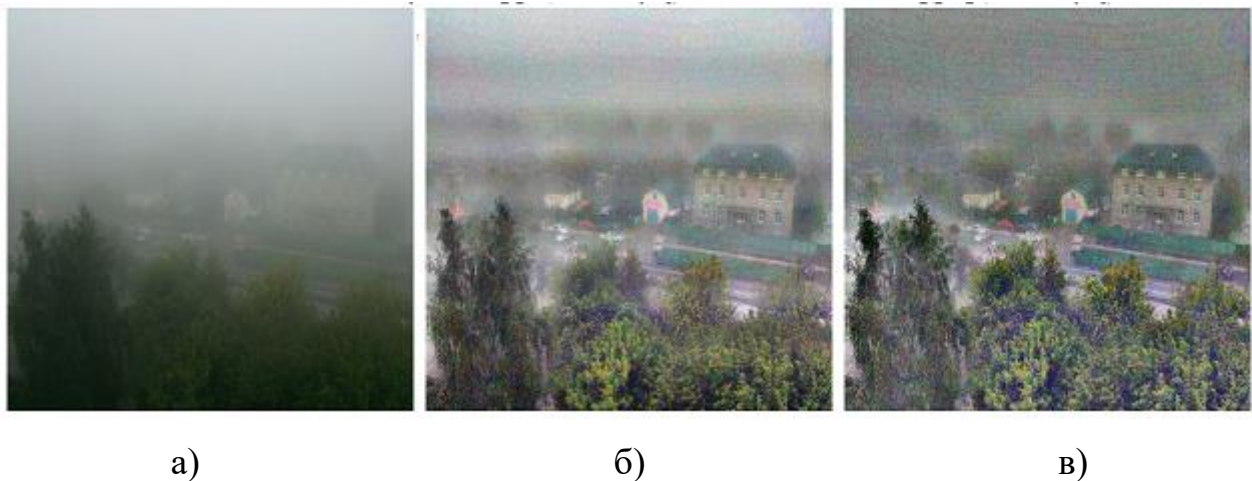
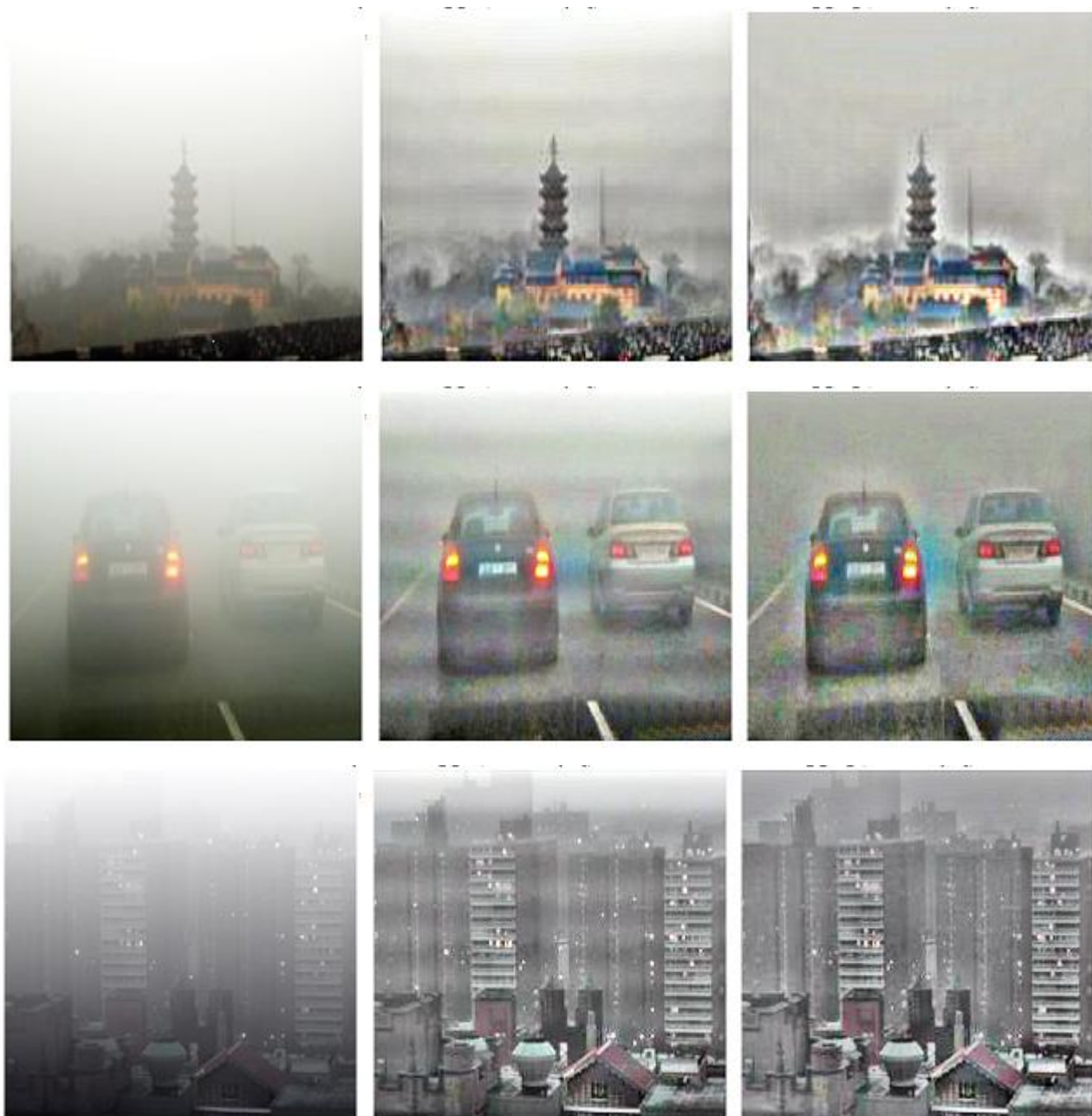
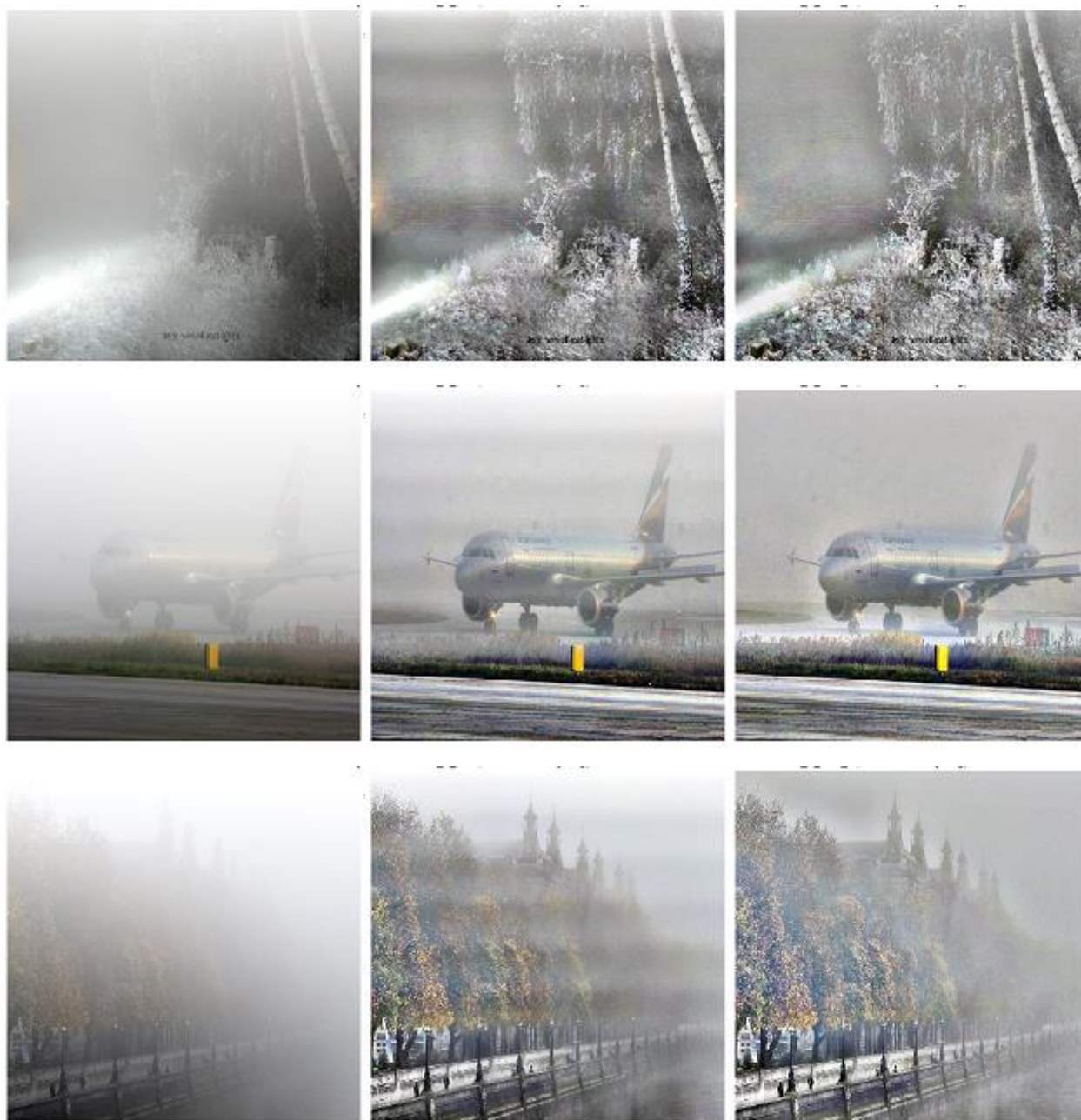


Рис.15. Изображения до обработки CLANE (а) и после обработки $CLANE_{RGB}$ (б), $CLANE_{mod_{RGB}}$ (в). Порог $P=0.025$.

На рис.16 представлен небольшой набор изображений. Левая колонка соответствует искаженным гидрометеорами изображениям. Правая и средняя колонки содержат изображения, полученные с помощью метода CLANE, с использованием и без использования усредненных по плиткам изображениям соответственно.





а)

б)

в)

Рис.16. Набор изображений, иллюстрирующих работу метода CLANE. Левая колонка соответствует искаженным гидрометеорами изображениям. Правая и средняя колонки содержат изображения, полученные с помощью метода CLANE, с использованием и без использования усредненных по плиткам изображениям соответственно. Порог $P=0.025$.

На изображениях средней колонки рис.16б часто присутствуют артефакты в виде горизонтальных полос. На изображениях правой колонки такие артефакты отсутствуют. Несмотря на то, что обработка всех изображений методом CLANE производилась при одной и той же величине порога $P=0.025$,

результаты рис.16б заметно отличаются от изображений на рис.16в. Очевидно, что это является результатом предварительной обработки с использованием усредненной по величине плитки яркости Y_m .

4. Заключение

Присутствие гидрометеоров в атмосфере ухудшает качество изображений, скрывает отдельные детали изображения. Одним из способов повышения степени различимости объектов на искаженном изображении является адаптивное выравнивание гистограммы контрастности ограничения или CLAHE. Этот метод позволяет подчеркнуть локальный контраст, что часто увеличивает степень различимости деталей изображения. Однако, неравномерное искажение гидрометеорами изображения может приводить к появлению артефактов на изображении после применения CLAHE.

В этой работе показано, что:

а) Использование для не цветного искаженного изображения предварительной обработки позволяет компенсировать возможные артефакты, возникающие в результате применения метода CLAHE.

б) Применение для цветных RGB изображений метода CLAHE к каждой цветовой компоненте изображения приводит к меньшей зависимости от цвета тумана (дымки, пыли, освещения) (в сравнении применения метода CLAHE к HSV изображению).

в) Использование для цветного искаженного изображения предложенного алгоритма на основе CLAHE позволяет компенсировать возможные артефакты, возникающие в результате применения метода CLAHE.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Zuiderveld, Karel (1994), Contrast limited adaptive histogram equalization, // Graphics gems IV , Academic Press Professional, Inc., 1994, pp. 474–485, URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=180940>

3. Dilraj Kaur, Pooja, A Critical Study and Comparative Analysis of Various Haze Removal Techniques, // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 121 – No.16, July 2015. pp.9-14.
4. Z. Al-Ameen, G. Sulong, A. Rehman, A. Al-Dhelaan, T. Saba, M. Al-Rodhaan. An innovative technique for contrast enhancement of computed tomography images using normalized gamma-corrected contrast-limited adaptive histogram equalization, // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (2015) 2015:32. DOI 10.1186/s13634-015-0214-1. pp.2-12.
5. C.C. Ting, B.F. Wu, M.L. Chung, C.C. Chiu, Y.C. Wu, Visual Contrast Enhancement Algorithm Based on Histogram Equalization. // Sensors. 2015, 15, 16981-16999.
6. G. Bianco, M. Muzzupappa, F. Bruno, R. Garciab, L. Neumann, A New Correction Method for Underwater Imaging. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015, 5, pp.25-32.
7. Z. Jia, H. Wang, R. Caballero, Z. Xiong, J. Zhao, A. Finn, Real-time content adaptive contrast enhancement for see-through fog and rain. // Conference Paper in Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988. ICASSP-88., 1988 International Conference on January 2010. DOI:10.1109/ICASSP.2010.5495454. URL:<https://www.researchgate.net/publication/220733692>
8. R. Kolhe, P. R. Badadapure, Survey on Haze Removal Algorithm for image, // International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM) ISSN : 2454-9150 Vol-03, Issue-04, July 2017. URL: <http://www.ijream.org/papers/IJREAMV03I042895.pdf>
9. A. Gnana Pradeep, M. Gnanapriya. A Novel Contrast Enhancement Algorithm Using HSV Color Space, // (IJITR) International Journal Of Innovative Technology And Reserch, Volume No.4, Issue No.6, October – November 2016, pp.5072-5075.

10. А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин .
«Метод улучшения различимости объектов при наличии гидрометеоров». //
«Журнал Радиоэлектроники» [электронный журнал], N 10, 2015, URL:
<http://jre.cplire.ru/jre/jun15/10/text.html> .
11. Адаптивное выравнивание гистограммы с ограничением контрастности
(CLANE). Документация MathWorks. URL:
<https://www.mathworks.com/help/images/ref/adapthisteq.html#bvhtu03-1>

Ссылка на статью:

В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин. Модификация метода CLANE для компенсации влияния гидрометеоров. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct17/10/text.pdf>