

УДК 621.396

КОМПЕНСАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ВЫЗВАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРАМИ, НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В. А. 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 26 августа 2017 г.

Аннотация. Качество изображений объектов на открытой местности зависит от состояния атмосферы (наличия атмосферных образований, в основном гидрометеоров). В данной работе рассматривается увеличение контраста путем преобразования динамического диапазона яркостей изображения на основе оценки коэффициента поглощения атмосферы. Предлагается изменение нормировки яркости согласно представленному алгоритму. С целью ускорения обработки изображений используется билинейная интерполяция.

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

Abstract. The quality of images of objects in the open area depends on the state of the atmosphere (the presence of atmospheric formations, mainly hydrometeors). The purpose of this work is to increase the degree of discernibility of objects in the image, distorted by the presence of hydrometeors. The goal is achieved by a method based on the Dark Channel Prior method. An important difference of the method used is the refusal of the independence of the brightness of the atmosphere from the position of the pixel. In addition, the estimation of the atmospheric absorption coefficient is made on the basis of the statistical brightness properties in the sprite with the center in the considered pixel. In this paper, we consider the increase in contrast by converting the dynamic range of image brightness based on an estimate of the atmospheric absorption coefficient. To avoid the rapid growth of artifacts caused by

the discreteness of pixel brightness, a restriction on increasing the brightness range is introduced. It is proposed to change the brightness normalization according to the presented algorithm, which leads to a sharp increase in the degree of distinguishability of objects in the image distorted by the action of hydrometeors. In order to speed up image processing, bilinear interpolation is used.

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

1. Введение

Качество изображений объектов на открытой местности зависит от состояния атмосферы (наличия атмосферных образований, в основном гидрометеоров).

Одним вариантом повышения качества изображений является повышение контраста изображений с помощью изменения гистограмм яркости [1-4]. Для обеспечения равномерного по изображению качества обработки используют сегментацию гистограммы [1] или обрабатываемого изображения (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization - CLAHE) [2-4]. Одной из проблем такой обработки является появление артефактов на изображении, связанных в первую очередь с ошибками в интерполяции яркости, связанной с интегральной гистограммой яркости пикселей рассматриваемого сегмента изображения (спрайта).

Искажение изображения гидрометеорами можно описать как сумму двух коррелированных факторов – поглощение излучения, идущего от объекта, и подсветка рассеянным излучением атмосферы. Компенсация этих искажений может быть основана на оценке коэффициента поглощения атмосферы - t_a и глобальной яркости атмосферы - A [2,4,5,6,8] (метод Dark Channel Prior -DCP). Величины t_a и A могут быть получены из анализа изображений при условии выполнения некоторых предположений [7, 8].

Часто полученное таким способом изображение содержит артефакты

(ореолы). Для уменьшения ореолов применяют процедуру Soft matting [2], которая требует значительных затрат времени на обработку изображений.

В работе [9] величины $t_a(x)$ и $A(x)$ получали, исходя из вычисления яркости и дисперсии, усредненных по спрайту с центром в заданной точке x . Это позволяет ослабить влияние шумов типа ‘соль’ и ‘перец’ на определение величины $t_a(x)$ и $A(x)$.

Следует отметить, что результаты работы методов, основанных на DCP, зависят от величины, усредненной по спрайту яркости.

Целью данной работы является увеличение степени различимости объектов при наличии гидрометеоров с помощью применения результатов работы [9]. Цель достигается изменением нормировки яркости.

2. Описание работы предложенного метода

Рассмотрим сначала метод DCP компенсации влияния гидрометеоров, изложенный в работах [2,4,5,6,8].

При наличии гидрометеоров яркость изображения (при отсутствии светящихся объектов) можно оценить по формуле [2]:

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

где I_i - яркость изображения в i -том пикселе; t, r - коэффициент пропускания атмосферы и коэффициент отражения излучения атмосферы объектом соответственно; A - яркость атмосферы. Если из измерений I_i можно определить A и t , то определение r объекта становится несложной задачей.

Обычно полагают, что A - яркость атмосферы, постоянна для всего изображения:

$$A = \max(I_i), \quad (2)$$

а коэффициент пропускания атмосферы оценивается следующим образом:

$$t = 1 - \min(I_i) / A, \quad (3)$$

где $\min(I_i)$ обозначает минимальную яркость в окрестности (спрайте) заданного размера вокруг пикселя i .

Для уменьшения влияния дискретного характера уровней яркости считают, что величина t не может быть меньше выбранной величины t_0 (обычно t_0 полагают равным 0.1 – 0.2).

Из (1 – 3) можно вычислить величину скомпенсированной яркости изображения $Y_i = rA$:

$$Y_i = \frac{I_i - A}{\max(t, t_0)} + A. \quad (4)$$

В работе [9] для уменьшения влияния шумов типа ‘соль’ и ‘перец’ было предложено в качестве оценки минимума яркости в спрайте в (3) использовать оценку:

$$I_i \min = \langle I_i \rangle - \sigma(I_i), \quad (5)$$

где $\langle I_i \rangle$ и $\sigma^2(I_i)$ - яркость и дисперсия яркости, усредненные по спрайту с центром в i – пикселе.

Яркость изображения в этом случае после компенсации влияния гидрометеоров рассчитывается по формуле [9]:

$$Y_i = [I_i - (\langle I_i \rangle - \sigma(I_i))]K + \langle I_i \rangle + \sigma(I_i) - 2\sigma(I_i)K, \quad (6)$$

где I_i и Y_i яркость изображения i – пикселя до и после компенсации соответственно;

коэффициент K равен

$$K = (\langle I_i \rangle + \sigma(I_i)) / 2\sigma(I_i), \text{ если } K \leq K \max, \quad (7)$$

причем, если $K > K \max$, то K принимает значение $K \max$.

Выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$Y_i = [I_i - I_i \min] I_i \max / (I_i \max - I_i \min), \quad \text{если } K \leq K \max, \quad (8)$$

$$Y_i = [I_i - I_i \min] K \max + I_i \max - (I_i \max - I_i \min) K \max, \text{ если } K > K \max, \quad (9)$$

где $I_i \min = \langle I_i \rangle - \sigma(I_i)$, $I_i \max = \langle I_i \rangle + \sigma(I_i)$.

Величина $K = I_i \max / (I_i \max - I_i \min)$ оценивает, во сколько раз величина максимальной яркости в спрайте превосходит разницу между максимальной и минимальной яркостью в спрайте. Введение сравнения K и K_{\max} позволяет уменьшить негативное влияние дискретного характера уровней яркости на качество изображения.

На рис.1 приведены изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров [2,9].

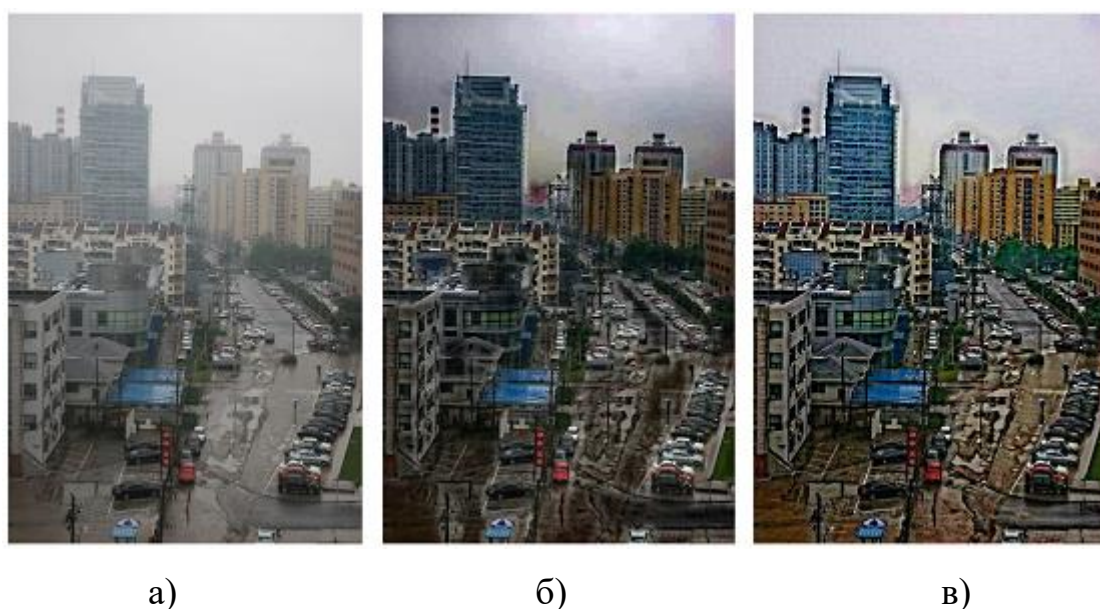


Рис.1. Изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров.

- а) Изображение, искаженное влиянием гидрометеоров.
- б) Результат применения (3 - 4).
- в) Результат применения (6 - 9).

Изображения, приведенные на рис.1, показывают, что алгоритмы, основанные на выражениях (3 - 4) и (6 - 9,) дают в рассмотренном случае примерно одинаковый результат. Несмотря на общее увеличение контраста, на полученных изображениях различимость объектов недостаточная из-за уменьшенной яркости в отдельных частях изображений. Однако следует отметить несколько большую различимость объектов на изображении рис.1в, полученном с использованием (6 - 9).

Если влияние гидрометеоров становится сильным, то оба рассмотренных метода дают неудовлетворительные результаты, представленные на рис.2.



Рис.2. Изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров.

- а) Изображение, искаженное влиянием гидрометеоров.
- б) Результат применения (3 - 4).
- в) Результат применения (6 – 9).

В дальнейшем мы будем рассматривать только метод компенсации влияния гидрометеоров, использующий оценку минимальной яркости в спрайте по формуле (5) с использованием яркости и дисперсии яркости, усредненных по спрайту.

3. Алгоритм нормировки

1. $Y_i = (I_i - I_i \min) K$, если $K \leq K \max$;
2. $Y_i = (I_i - \langle I_i \rangle) K \max + \langle I_i \rangle$, если $K > K \max$ и $(I_i - \langle I_i \rangle) K \max + \langle I_i \rangle \geq 0$;
3. $Y_i = (I_i - I_i \min) K \max$, если $K > K \max$ и $Y_i = (I_i \min - \langle I_i \rangle) K \max + \langle I_i \rangle < 0$
4. $Y_i = (I_i - I_i \min) K \max + Ym - (I_i \max - I_i \min) K \max$,
 если $K > K \max$ и $Y_i = (I_i - \langle I_i \rangle) K \max + \langle I_i \rangle > Y \max$, (10)

где если $Y \max > 2 \langle I_i \rangle$, то $Ym = Y \max$, иначе $Ym = 2 \langle I_i \rangle$; величина $Y \max$ равна максимально возможной яркости (в случае 24-битного изображения $Y \max = 255$) ;

$$I_i \min = \langle I_i \rangle - \sigma(I_i) , I_i \max = \langle I_i \rangle + \sigma(I_i) ;$$

$$K = Ym / 2\sigma(I_i) , \text{ если } K \leq K \max ,$$

причем, если $K > K_{\max}$, то K принимает значение K_{\max} .

Смысл такой нормировки состоит в том, чтобы максимально увеличить диапазон изменения яркости в каждом спрайте изображения. На рис.3 и рис.4 представлены результаты расчета по формулам (10) в сравнении с результатами расчетов по формулам (6 – 9).

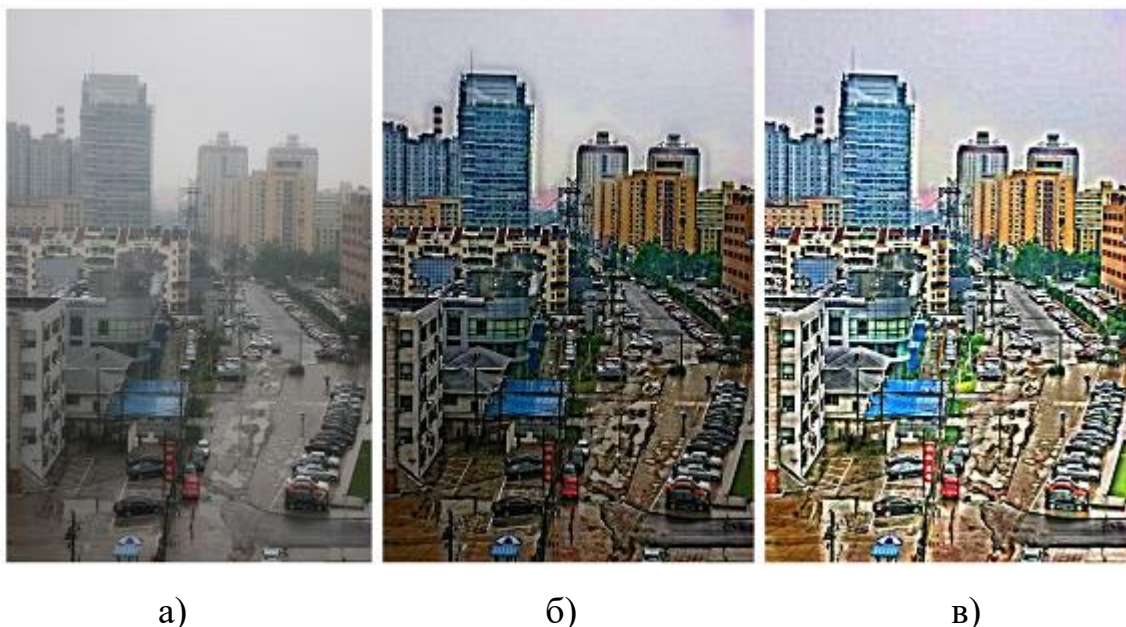


Рис.3. Изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров.

- а) Изображение, искаженное влиянием гидрометеоров.
- б) Результат применения (6 – 9).
- в) Результат применения (10).



Рис.4. Изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров.

- а) Изображение, искаженное влиянием гидрометеоров.
- б) Результат применения (6 – 9).
- в) Результат применения (10).

Рис.3 – 4 иллюстрируют резкое улучшение в различимости объектов в случае применения алгоритма нормировки (10).

4. Оптимизация работы алгоритма компенсации

Анализ работы алгоритма компенсации позволяет предположить, что вычисление яркости и дисперсии яркости, усредненных по спрайту с центром в каждом пикселе изображения, не является необходимым. Можно воспользоваться приемом, аналогичным CLANE [2-4]. В методе CLANE изображение разбивается на одинаковые прямоугольные спрайты одинакового размера. Количество таких спрайтов N по вертикали и по горизонтали выберем одинаковое.

Использование билинейной интерполяции

Для определения яркости изображения после компенсации произведем следующие действия:

- а) Вычислим согласно (10) значение яркости в каждом из 4 ближайших спрайтах, окружающих выбранный пиксель. Причем I_i соответствует выбранному пикселю, а $\langle I_i \rangle$ и $\sigma(I_i)$ соответствует каждому из четырех спрайтов, окружающих выбранный пиксель.
- б) Из четырех значений яркости, полученных в пункте а), вычислим с помощью билинейной интерполяции значение яркости в заданном пикселе.

На рис.5 – 6 приведены изображения, полученные на основе выражений (10) с помощью попиксельного сканирования спрайтом, соответствующего рис.3 – 4, и алгоритма с использованием билинейной интерполяции, описанного выше.

На рис.5 – 6 видно, что увеличение N приводит результаты билинейной интерполяции к:

- а) уменьшению артефактов (полос), вызванных ошибками интерполяции;
- б) уменьшению разницы относительно изображения, полученного в результате применения (10).



а)

б) N=4

в) N=16

Рис.5. Изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров.

а) Результат применения (10).

б) Результат применения алгоритма с использованием билинейной интерполяции (N=4).

в) Результат применения алгоритма с использованием билинейной интерполяции (N=16).



а)

б) N=4

в) N=16

Рис.6. Изображения до и после применения алгоритмов компенсации влияния гидрометеоров.

а) Результат применения (10).

б) Результат применения алгоритма с использованием билинейной интерполяции (N=4).

в) Результат применения алгоритма с использованием билинейной интерполяции (N=16).

Кроме этого, следует отметить, что применение билинейной интерполяции вызывает «размывание» артефактов типа ореолов вокруг контрастных объектов

На рис.7 приведен график зависимости отношения времени вычислений с помощью билинейной интерполяции к времени вычислений по формуле (10).

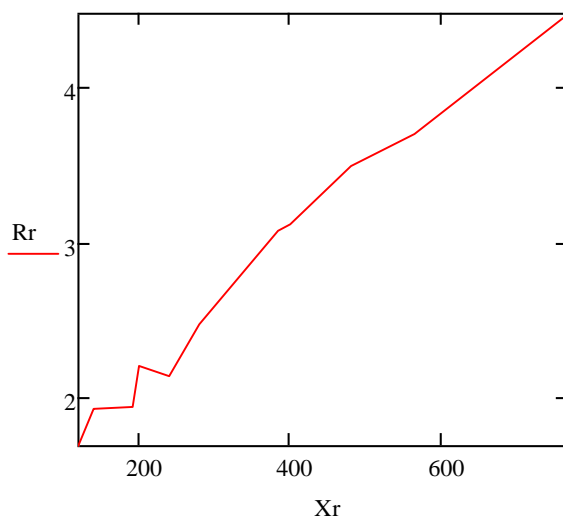


Рис.7. График зависимости R_r - отношения времени вычислений с помощью билинейной интерполяции к времени вычислений по формуле (10) от величины изображения X_r (изображение имеет одинаковый размер по вертикали и горизонтали).

График $R_r(X_r)$ хорошо аппроксимируется прямой. Из рис.7 видно, что применение билинейной интерполяции позволяет в несколько раз ускорить получение необходимого изображения.

5. Заключение

В данной работе предложена оптимизация метода компенсации влияния гидрометеоров [9], основанного на методе DCP [2,4,5,6,8]. В результате оптимизации получены следующие результаты:

- а) Изменение нормировки изображения приводит к резкому увеличению степени различимости объектов на изображении, искаженном действием гидрометеоров.
- б) Применение билинейной интерполяции позволило в несколько раз увеличить скорость обработки изображений.

в) Применение билинейной интерполяции приводит к уменьшению проявлений артефактов в виде ореолов. Однако, одновременно, при недостаточном разбиении изображения ($N < 8$), могут появиться артефакты обычно в виде полос.

Литература

1. Михайлюк Ю.П., Начаров Д.В. Метод улучшения различимости объектов на цифровых изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. N 6. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/4/text.html> .
2. Manpreet K. S., Satbir S. A Review on Various Haze Removal Techniques for Image Processing. // International Journal of Current Engineering and Technology, Vol.5, No.3 (June 2015). pp.1500-1505.
3. V.Vembuselvi, T.Murugan. An Efficient Technique for Illumination Adjustment Using CLAHE Algorithm. // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 4, Issue 3, March 2016. pp. 4001-4006.
4. Kanika Kapoor, Shaveta Arora. Colour image enhancement based on histogram equalization. // Electrical & Computer Engineering: An International Journal (ECIJ) Vo. 4, No.3, September 2015. pp. 73-82.
5. Halmaoui H., Cord A., Hautière N. Contrast restoration of road images taken in foggy weather // 2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. 2011. pp. 2057—2063.
6. Tripathi A.K., Mukhopadhyay S. Removal of fog from images: A review. // IETE Technical Review. 2012. Vol.29, No. 2. pp.148—156.
7. Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang, Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior. // IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence, Vol.33, No.12, December 2011, pp. 2341-2353.

8. Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang, Final Project: Dark Channel Prior Haze Removal, URL: http://students.cec.wustl.edu/~jwaldron/559/project_final , 05.08.2012.

9. Кокошкин А. В., Коротков В. А., Коротков К. В., Новичихин Е. П. Метод улучшения различимости объектов при наличии гидрометеоров. // Журнал Радиоэлектроники [электронный журнал], 2015. N 10. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/10/text.html> .

Ссылка на статью:

В. А. Коротков, Е. П. Новичихин. Компенсация искажений изображения, вызванных гидрометеорами, на основе статистических свойств яркости изображения. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep17/9/text.pdf>