

УДК 004.932.2

Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона

¹ Гармаш В. Н., ² Коробочкин Д. М., ³ Матвеев С. А., ³ Петров Ю. В.,
³ Рудыка С. А., ³ Страхов С. Ю.

¹АО «Заслон»

ул. Коли Томчака, 9, Санкт-Петербург, 196084, РФ
gar-vitalij@yandex.ru

²ООО «Ситиман»

Малый проспект В. О., д. 54, корп. 2, Санкт-Петербург, 199178, РФ
dmitriy.korobochkin@gmail.com

³Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

ул. 1-я Красноармейская, д. 1, Санкт-Петербург, 190005, РФ
petrov-i4@yandex.ru

Получено: 3 июня 2018 г.

Отрецензировано: 20 июня 2018 г.

Принято к публикации: 2 июля 2018 г.

Аннотация: *Предлагается метод оценки интенсивности осадков с помощью обработки изображений, полученных с камеры видимого диапазона. Основным преимуществом использования данного метода является возможность определения интенсивности по единственному изображению, что позволяет применять метод на летательных аппаратах. За счет уменьшения количества операций свертки и умножения метод обладает меньшей вычислительной сложностью.*

Ключевые слова: *обнаружение осадков, определение интенсивности осадков, обработка изображений.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М., Матвеев С. А., Петров Ю. В., Рудыка С. А., Страхов С. Ю. Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2018. Т. 1, № 3. С. 282—296.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Гармаш, В. Н. Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона / В. Н. Гармаш, Д. М. Коробочкин, С. А. Матвеев, Ю. В. Петров, С. А. Рудыка, С. Ю. Страхов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 282—296.

Estimation of precipitation intensity due to image processing from the camera of the visible range

¹ V. N. Garmash, ² D. M. Korobochkin, ³ S. A. Matveev, ³ Y. V. Petrov,
³ S. A. Rudyka, and ³ S. Y. Strakhov

¹“ZASLON” JSC

9, Koli Tomchaka Str., Saint-Petersburg, 196084, Russian Federation
gar-vitalij@yandex.ru

²“Citymap” LLC

54/2, Small avenue V.O., Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation
dmitriy.korobochkin@gmail.com

³Baltic State Technical University VOENMEH named after D. F. Ustinov,
1, 1st Krasnoarmeyskaya Str., Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation
petrov-i4@yandex.ru

Received: June 3, 2018

Peer-reviewed: June 20, 2018

Accepted: July 2, 2018

Abstract: A method for estimating the intensity of precipitation using image processing from a camera of the visible range has been defined. The main advantage of using this method is the ability to determine the intensity using only one image. This feature allows this method on aircraft. The number of operations of convolution and multiplication was reduced. Therefore, the method has less computational complexity.

Keywords: precipitation detecting, estimating the intensity of precipitation, image processing.

For citation (IEEE): V. N. Garmash et al. “Estimation of precipitation intensity due to image processing from the camera of the visible range” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 282–296, 2018. (In Russ.).
doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.22

1. Введение

Традиционно для определения интенсивности осадков применяют способ их сбора в специальные осадкосборные устройства [1, 2], либо проводят подсчет количества капель осадков, пролетающих через пространство между обкладками специальных измерительных конденсаторов [3]. Данные методы называются методами прямого измерения. К преимуществам данных способов можно отнести высокую точность измерений.

Однако их применимость существенно ограничена, поскольку для реализации требуются специальные сложно реализуемые условия организации процесса сбора. Такие как: минимизация воздействия ветра на прибор, а также влияния самой станции на воздушный поток. Известен ряд измерительных систем, способ измерения в которых основан на зондировании исследуемой области атмосферы с помощью поочередно посылаемых оптических лазерных [4], радиолокационных [5] или акустических импульсов [6]. В процессе зондирования осуществляется прием рассеянного излучения с последующей обработкой принятых сигналов и анализом метеорологических данных. Эти системы требуют специальной настройки, монтажа, обслуживания, обладают высоким энергопотреблением.

Известен ряд алгоритмов, позволяющих детектировать наличие осадков и уровень их интенсивности на основе обработки видеоданных [7, 8—11, 12, 13]. К основным их недостаткам стоит отнести то, что все эти алгоритмы ориентированы на обработку видеоизображений, получаемых с помощью стационарных камер, поскольку используют стохастическую модель неподвижного заднего плана и дают существенно худшие результаты на фоне движущихся объектов, что делает невозможным их применение на подвижных носителях.

Таким образом, задача автоматического детектирования и определения интенсивности осадков без специализированного и дорогостоящего оборудования при помощи камеры видимого диапазона, установленной на подвижном носителе, является актуальной.

2. Описание способа

Присутствие дождевых осадков на изображении с камеры видимого диапазона, во-первых, приводит к общему снижению контрастности, во-вторых, к проявлению импульсных аномалий особого вида. Данные аномалии, в случае дождя, представляют собой сонаправленные протяженные низкоуровневые детали, подобные штриховым линиям. Пример таких деталей показан на рисунке 1а.

Суть разработанного метода заключается в выделении этих аномалий в виде сонаправленных протяженных штриховых линий (рисунок 1б) путем обработки одного изображения и оценке их объема на полученном изображении [14].

На рисунке 1а, как можно заметить, что следы выпадения осадков в виде дождя имеют вид протяженных линий с близким друг к другу углом наклона, поэтому на первом этапе необходимо определить преимущественное направление наклона этих линий (угол выпадения осадков). На



Рис. 1. Пример изображения сцены с дождем в виде сонаправленных протяженных линий:
 а — исходное изображение; б — выделенные аномалии.

Fig. 1. An example image of a scene with rain in the form of co-directed extended lines
 а – the original image; б – highlighted anomalies

втором и третьем этапе производится выделение всех линий изображения, параллельных рассчитанному направлению (рисунок 1б). На последнем этапе определяется интенсивность следов выпадения дождя, причем ее необходимо нормировать относительно размера изображения. Интенсивность следов выпадения дождя пропорциональна объему осадков, выпадающих за единицу времени.

Рассмотрим каждый из этапов обнаружения осадков и определения их интенсивности более подробно.

1. Поиск модуля и направления градиента $\nabla_I(i, j)$ функции яркости изображения $I(i, j)$ осуществляется по формулам [15]:

$$|\nabla_I(i, j)| = \sqrt{\left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}\right)^2 + \left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}\right)^2}, \quad (1)$$

$$\arg(\nabla_I(i, j)) = \arctg\left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial i} / \frac{\partial I(i, j)}{\partial j}\right). \quad (2)$$

где: $i = 0 \dots N - 1$, $j = 0 \dots M - 1$, где N и M – размеры изображения по горизонтали и вертикали соответственно. Для нахождения частных про-

изводных $\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}$ и $\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}$ в каждой точке изображения (исключая его границы) осуществляется дискретная свертка функции яркости изображе-

ния с масочными операторами Собеля S_x и S_y методом скользящего окна:

$$\begin{aligned}\frac{\partial I(i, j)}{\partial i} &= \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 I(i+n-1, j+m-1) \cdot S_x(n, m), \\ \frac{\partial I(i, j)}{\partial j} &= \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 I(i+n-1, j+m-1) \cdot S_y(n, m),\end{aligned}\quad (3)$$

где маски S_x и S_y представляют собой двумерные дискретные множества весовых коэффициентов с размерностью 3×3 следующего вида [15]:

$$S_x = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}, \quad S_y = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix}.\quad (4)$$

После нахождения градиентов в каждой точке изображения по формулам (1, 2) строится их ориентированная гистограмма [16]. Ориентированная гистограмма градиентов двумерной функции яркости изображения состоит из следующих угловых компонент: 0° (180°), 30° (210°), 45° (225°), 60° (240°), $\pm 90^\circ$, 120° (-60°), 135° (-45°), 150° (-30°). Возможно формирование гистограммы градиентов и с меньшим угловым шагом, однако для этого на следующем этапе потребуется осуществлять свертку изображения с двумерными масками большей размерности (5×5 , 7×7 и т. д.), что связано с дополнительными вычислительными затратами. Формируется гистограмма следующим образом: каждая точка изображения (i, j) вносит вклад, равный (1), в ту угловую компоненту гистограммы, которая ближе всего соответствует направлению градиента (2). Преимущественное направление вектора градиента θ лежит в промежутке, покрываемом максимальной компонентой гистограммы. Именно эта компонента соответствует углу выпадения осадков.

С целью выделения контуров, соответствующих углу выпадения осадков, производится свертка исходного изображения $I(i, j)$ с одной из масок S_θ :

$$R(i, j) = I(i, j) * S_\theta,\quad (5)$$

где:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix}, S_{30} = \begin{vmatrix} 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 S_{45} &= \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{vmatrix}, S_{60} = \begin{vmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 S_{90} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}, S_{120} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -2 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}, \\
 S_{135} &= \begin{vmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{vmatrix}, S_{150} = \begin{vmatrix} 0 & -2 & -2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Свертка осуществляется аналогично (3) с той маской S_θ , угловая ориентация θ которой соответствует преимущественному направлению вектора градиента изображения, вычисленному на предыдущем этапе алгоритма. Здесь S_0 и S_{90} представляют собой горизонтальную и вертикальную маску оператора Собеля (4), а остальные получены путем их поворота на соответствующий угол. Следует отметить, что для масок (4) с размерностью 3×3 поворот на углы 30° , 45° , 60° , 90° , 120° , 135° и 150° реализуется без искажений их дифференцирующих свойств.

Результаты свертки изображений без дождя и с дождем (рисунки 2а и 2б) с маской S_{90} представлены на рисунках 2в и 2г соответственно. Как видно, контур выделяемого изображения (препарат, [17]) $R(i, j)$, полученный в дождливую погоду, отличается высокой интенсивностью регулярных сонаправленных протяженных импульсных аномалий («линий дождя»). Оба препарата $R(i, j)$ при этом содержат контуры объектов изображения, имеющие вид ярких утолщенных линий, а также двумерные импульсные помехи случайной формы.

Для подавления контуров объектов изображения и случайных шумовых составляющих производится дискретная свертка препарата $R(i, j)$ с двумерным вейвлетом Хаара:

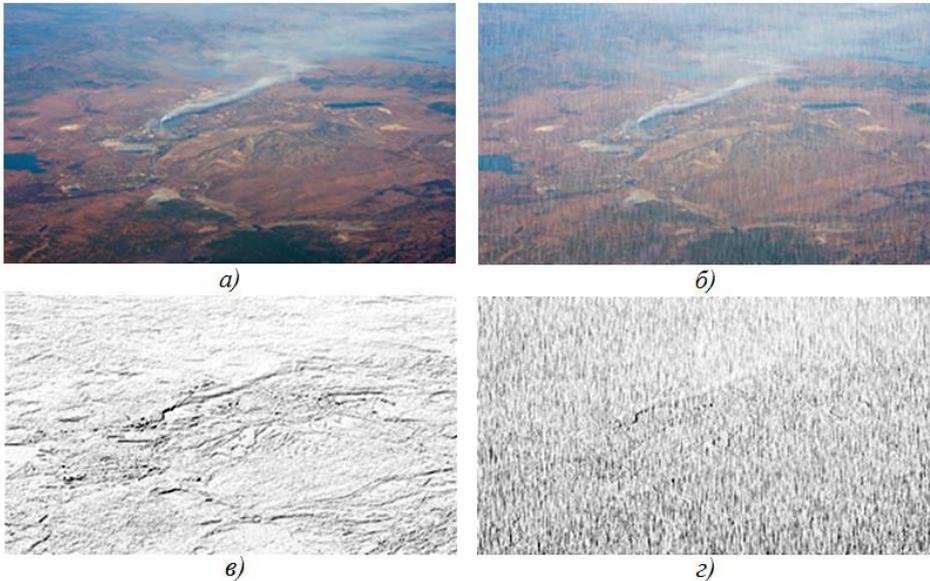


Рис. 2. Изображения видимого диапазона без дождя (слева) и с дождем (справа) и результаты их обработки: а, б — исходные; в, г — первая свертка (рисунок «в» представлен с инверсными цветами).

Fig. 2. Images of visible range without rain (left) and with rain (right) and the results of their processing: а, б – the source image; в, г – first convolution (image "в" is presented in inversed colors)

$$G(i, j) = R(i, j) * H_{\theta}. \quad (7)$$

Вейвлеты Хаара представляют собой кусочно-постоянные функции, заданные на конечных интервалах различных масштабов и принимающие значения -1 или $+1$ [18, 19]. В настоящее время они находят широкое применение при обработке изображений для поиска объектов на нем [20].

Для детектирования «линий дождя» предлагается использовать вейвлеты Хаара H_{θ} с различными углами наклона θ , изображенные на рисунке 3.

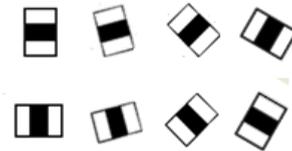


Рис. 3. Разновидности вейвлетов Хаара для детектирования тонких линий с различными углами наклона.

Fig. 3. Varieties of Haar wavelets for detecting thin lines with different angles of inclination

Маски H_θ , соответствующие вейвлетам Хаара, представленным на рисунке 3, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 H_0 &= \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, & H_{30} &= \begin{vmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 H_{45} &= \begin{vmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, & H_{60} &= \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 H_{90} &= \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \end{vmatrix}, & H_{120} &= \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \end{vmatrix}, \\
 H_{135} &= \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \end{vmatrix}, & H_{150} &= \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Дискретная свертка осуществляется аналогично (3) с той маской, угловая ориентация θ которой соответствует преимущественному направлению вектора градиента изображения, вычисленному на первом этапе алгоритма.

Результаты свертки препаратов $R(x, y)$ с вейвлетом Хаара представлены на рисунках 4а и 4б.

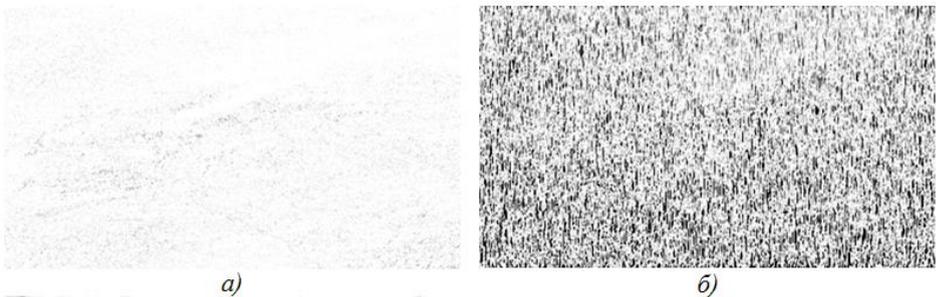


Рис. 4. Результаты свертки с вейвлетами Хаара изображения без дождя (а) и с дождем (б) (рисунок «б» представлен с инверсными цветами).

Fig. 4. The result of convolution Haar wavelet with the images without rain (a) and with rain (b) (image «б» is presented in inversed colors)

Заключительным этапом является определение интенсивности обнаруженных «линий дождя» J^{rain} :

$$J^{rain} = \frac{\sum_i \sum_j G(i, j)}{M \cdot N}, \quad (9)$$

где M и N — размеры изображения по вертикали и горизонтали. Решение о наличии дождя и его интенсивности принимается при превышении J^{rain} некоторых пороговых значений.

3. Проведение исследований

Для проведения исследований была сформирована выборка шестидесяти изображений, полученных имитационным математическим моделированием, на которых отсутствуют или присутствуют осадки в виде дождя различной интенсивности (слабый, средний и сильный дождь).

По данной выборке изображений были определены интенсивности осадков и получены их статистические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики интенсивности осадков

Параметр	Нет дождя	Слабый дождь	Средний дождь	Сильный дождь
Математическое ожидание $M(J^{rain})$	2,84	8,73	15,73	20,55
Дисперсия $\sigma^2(J^{rain})$	1,81	0,75	3,01	6,15
Среднеквадратическое отклонение $\sigma(J^{rain})$	1,34	0,87	1,74	2,48

На рисунке 5 изобразим плотности вероятности нормальных законов распределения для математического ожидания и среднеквадратического отклонения различных видов дождя, полученных в таблице 1.

Используя полученные плотности вероятности, определим пороги, полученные в результате статистического анализа выборки видеоизображений. Они представлены в таблице 2.

Таблица 2. Пороговые значения интенсивности осадков

Вид осадков	Нижний порог	Верхний порог
Нет дождя	0	6
Слабый дождь	6	12
Средний дождь	12	18
Сильный дождь	18	—

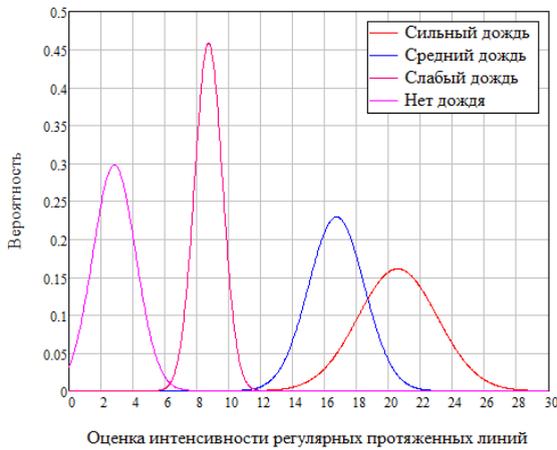


Рис. 5. Плотности вероятности различных видов дождя.

Fig. 5. Probability densities for various types of rain

График зависимости интенсивности осадков (мм/ч) от интенсивности обнаруженных «линий дождя» J^{rain} представлен на рисунке 6. Аппроксимирующее выражение имеет вид:

$$I = \frac{1}{60} \cdot \left(1 + \frac{J^{rain}}{6} \right)^3 \quad (10)$$

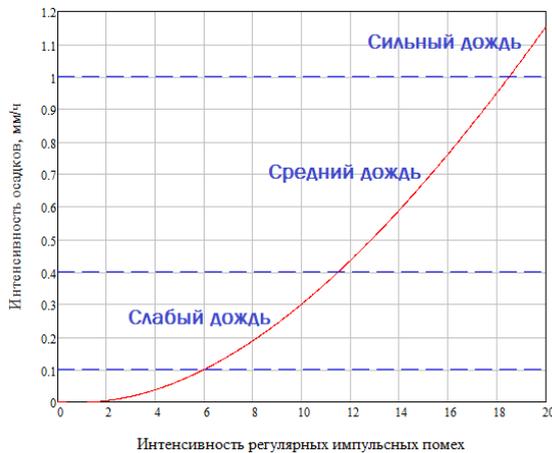
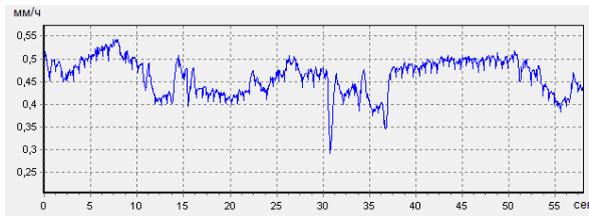


Рис. 6. Взаимосвязь интенсивности регулярных протяженных импульсных помех и интенсивности осадков.

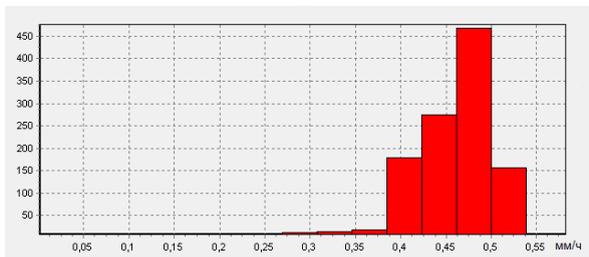
Fig. 6. The relationship of the intensity of regular extended pulse noise and precipitation intensity



а



б



в

Рис. 7. Пример видеопоследовательности (а) и полученные при ее обработке временная зависимость (б) и гистограмма (в) оценок интенсивности осадков.

Fig. 7. An example of a video sequence (a) and obtained during its processing time dependence (b) and histogram (c) of precipitation intensity estimates

Проведен анализ разработанных алгоритмов определения метеословий с точки зрения влияния таких параметров изображения, как яркость, контраст, размер изображения. Проведенный анализ показал, что изменение яркости изображений (на величину от -50% до $+50\%$) изменяет

оценку интенсивности дождя не более чем на 20 %; изменение контрастности изображения (на величину от -50 % до +50 %) — не более чем на 10 % (т. е. практически не оказывает влияния); изменение размера изображения (путем вырезания участка изображения) — не более чем на 25 %.

Предложенный алгоритм позволяет определять интенсивность осадков по единственному видеокадру, однако рассчитанное таким образом значение интенсивности носит случайный характер. Предполагается, что более точную оценку интенсивности осадков можно получить при обработке последовательности видеок кадров.

Для подтверждения было проведено исследование возможности использования последовательности изображений (видео) при неподвижной и подвижной камеры. Дождь моделировался как случайный коррелированный во времени процесс (коэффициент корреляции соседних изображений был равен 0.9). Для оценки интенсивности дождя использовалось среднее значение рассчитанных интенсивностей за период наблюдения. Для примера на рисунке 7 приведены три кадра из видео длительностью 60 сек (а), изменение оценки интенсивности осадков во времени (б) и гистограмма распределения оценок (в).

Как видно, закон распределения интенсивности осадков близок к нормальному, среднее значение составило 0.46 мм/ч («средний» дождь), а СКО — около 12 % от величины математического ожидания.

4. Заключение

Разработан способ обнаружения и оценки интенсивности осадков в виде дождя [14]. Существующие способы [7, 8—11, 12, 13] используют метод вычитания фона последовательности кадров изображения, что исключает их применение на подвижных носителях. Предлагаемый способ лишен указанного недостатка за счет обработки всего одного кадра изображения. Вычислительная сложность обеспечивает реализацию в реальном времени.

Получена взаимосвязь интенсивности регулярных протяженных импульсных помех и интенсивности осадков.

В результате проведенных исследований установлено, что изменение освещенности сцены изображения изменяет оценку интенсивности не более чем на 20 %; контрастности изображения — не более, чем на 10 %; размера изображения — не более, чем на 25 %. Оценка интенсивности осадков возможна и при использовании последовательности кадров (видеоизображения), дисперсия ошибки оценивания при этом может быть уменьшена до 10—15 % от среднего значения.

Список литературы

1. Zhao X. The application of histogram on rain detection in video // Proceedings of the 11th Joint Conference on Information Science. 2008.
2. Куринны С. А., Рогоцкий В. В. А. с. 1728830 (СССР), МПК7 G 01 W 1/14. Осадкомер. Оpubл. в Б. И., 1993, № 2.
3. Розинский Л. С., Савченков А. Г., Буданова В. Н. Пат. 2054730 (РФ), МПК H 01 J 9/04. Способ изготовления многолучевого электронного прибора. Оpubл. 20.02.1996.
4. Белый Д. М. Пат. 2097797 (РФ), МПК G 01 W 1/14. Индикатор атмосферных осадков. Оpubл. 27.11.1997.
5. Зуев В. Е., Макушин Ю. С., Пономарев Ю. Н., Тихомиров Б. Л. А. с. 1187595 (СССР), МПК7 G 01 W 1/16. Способ дистанционного измерения атмосферные параметры. Оpubл. в Б. И., 1993, № 4.
6. Байсиев Х.-М. Х., Атабиев М. Д., Залиханов М. Ч., Капитанников А. В. Пат. 2097798 (РФ), МПК G 01 W 1/14. Способ измерения осадков. Оpubл. 27.11.1997.
7. Съедин В. Я., Шаманаева Л. Г. А. с. 932435 (СССР), МПК7 G 01 W 1/14. Способ измерения интенсивности атмосферных осадков. Оpubл. в Б. И., 1982, № 20.
8. Varun P. S., Narasimhan S., Kanade T. Analysis of rain and snow in frequency space // International Journal of Computer Vision. 2010. Т. 86, № 2—3. С. 256—274.
9. Garg K., Nayar S. K. Detection and removal of rain from videos // Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference. 2004. Т. 521. С. I-528—I-535.
10. Malekshahi G., Ebrahimnezhad H. Detection and Removal of Rain from Video Using Predominant Direction of Gabor Filters // Journal of Information Systems and Telecommunication. 2015. Т. 3, № 1. С. 41—49.
11. Park W.-J., Lee K.-H. Rain removal using Kalman filter in video // International Conference on, IEEE. 2008. С. 494—497.
12. Shen M., Xue P. A fast algorithm for rain detection and removal from videos // IEEE International Conference on, IEEE. 2011. С. 1—6.
13. Zhang X., Li H., Qi Y., Leow W. K., Ng T. K. Rain removal in video by combining temporal and chromatic properties // Multimedia and Expo, IEEE International Conference on, IEEE. 2006. С. 461—464.
14. Петров Ю. В., Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М., Страхов С. Ю., Тураева А. Н. Пат. 2611696 (РФ). Способ определения интенсивности осадков в реальном времени в авиационных системах улучшенного видения. Оpubл. 28.02.2017.
15. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учебное пособие. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. 168 с.
16. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Т. 1. 2005. С. 886—893.
17. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений : учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2011. 608 с.
18. Anuj B., Rashid A. Image compression using modified fast Haar wavelet transform // World Applied Sciences Journal. 2009. Т. 7. № 5. С. 647—653.
19. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2001. Т. 1. С. 511—518.
20. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. Москва : Мир, 2001. 412 с.

References

- [1] X. Zhao et al. "The Application of Histogram on Rain Detection in Video," *Proc. 11th Jt. Conf. Inf. Sci.*, 2008, pp. 1–6.
- [2] S. Kurinny and V. Rogotskiy, "Osadkomer [Sediment gauge]," USSR Auth. Certificate 1728830, 1993. (In Russ.).
- [3] L. Rozinskiy et al. "A method of manufacturing a multibeam electronic device," RF Pat. 2054730, February 20, 1996. (In Russ.).
- [4] D. Belyy, "A method of manufacturing a multibeam electronic device," RF Pat. 2097797, November 27, 1997. (In Russ.).
- [5] V. Zuyev et al. "Sposob distantsionnogo izmereniya atmosferynye parametrov [Method for remote measurement of atmospheric parameters]," USSR Auth. Certificate 1187595, 1993. (In Russ.).
- [6] K. Baysiyev et al. "Method for measuring precipitation," RF Pat. 2097798, November 27, 1997. (In Russ.).
- [7] V. S'yedin and L. Shamanayeva, "Sposob izmereniya intensivnosti atmosferykh osadkov [The method of measuring the intensity of precipitation]," USSR Auth. Certificate 932435, 1982. (In Russ.).
- [8] P. C. Barnum et al. "Analysis of rain and snow in frequency space," in *International Journal of Computer Vision*, 2010.
- [9] K. Garg and S. K. Nayar, "Detection and removal of rain from videos," in *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004*, vol. 1, pp. I-528–I-535.
- [10] G. Malekshahi and H. Ebrahimnezhad, "Detection and Removal of Rain from Video Using Predominant Direction of Gabor Filters," *Journal of Information Systems and Telecommunication*, vol. 3, no. 1, pp. 41–49, 2015.
- [11] W. Park and K. Lee, "Rain Removal Using Kalman Filter in Video," in *2008 International Conference on Smart Manufacturing Application*, 2008, pp. 494–497.
- [12] M. Shen and P. Xue, "A fast algorithm for rain detection and removal from videos," in *2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2011, pp. 1–6.
- [13] X. Zhang et al. "Rain Removal in Video by Combining Temporal and Chromatic Properties," in *2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2006, pp. 461–464.
- [14] Y. Petrov et al. "The method of determining the intensity of precipitation in real time in aircraft enhanced vision system," RF Pat. 2611696, February 28, 2017. (In Russ.).
- [15] I. Gruzman et al. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh* [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk: NGTU, 2000. (In Russ.).
- [16] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '05)*, 2005, vol. 1, pp. 886–893.
- [17] N. Krasil'nikov, *Tsifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazheniy* [Digital processing of 2D and 3D images]. Saint-Petersburg: BKHV-Peterburg, 2011. (In Russ.).
- [18] P. Soni, "Image compression and reconstruction using modified fast haar wavelet transform," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, 2015.
- [19] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," 2001.
- [20] C. Chui, *Vvedeniye v veyvlety* [Introduction to Wavelets]. Moscow : Mir, 2001. (In Russ.).

Информация об авторах

Гармаш Виталий Николаевич, к. т. н., начальник лаборатории программного обеспечения АО «Заслон», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Коробочкин Дмитрий Михайлович, к. т. н., программист ООО «Ситимап», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Матвеев Станислав Алексеевич, к. т. н., проректор по научной работе и инновационно-коммуникационным технологиям Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Петров Юрий Витальевич, к. т. н., доцент кафедры радиоэлектронных систем управления Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Рудыка Станислав Анатольевич, начальник научно-исследовательской части Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Страхов Сергей Юрьевич, д. т. н., декан факультета информационных и управляющих систем Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Information about the authors

Vitaliy N. Garmash, Cand. Sci. (Eng.), “Zaslon” JSC, chief of software laboratory, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Dmitriy M. Korobochkin, Cand. Sci. (Eng.), “Citymap” LLC, Software Developer, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Stanislav A. Matveev, Cand. Sci. (Eng.), vice-rector for research and innovation and communication technologies, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Yuriy V. Petrov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Stanislav A. Rudyka, head of research unit, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Segey Y. Strakhov, Dr. Sci. (Eng.), professor, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.