

Для цитирования: Петров Ю. В., Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М. Обнаружение осадков и определение уровня их интенсивности по изображениям, формируемым системой улучшенного видения бортового радиоэлектронного комплекса обеспечения поисково-спасательных операций // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 7. С. 131–138. DOI 10.21778/2218-5453-2018-7-131-138 УДК 004.932.2

Ю. В. Петров¹, В. Н. Гармаш², Д. М. Коробочкин³

¹ Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, ² АО «Заслон»,
³ ООО «Ситимап»

ОБНАРУЖЕНИЕ ОСАДКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ИХ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ, ФОРМИРУЕМЫМ СИСТЕМОЙ УЛУЧШЕННОГО ВИДЕНИЯ БОРТОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ*

В статье предлагается способ автоматического обнаружения осадков и оценки их интенсивности по изображениям, формируемым системой улучшенного видения бортового радиоэлектронного комплекса обеспечения поисково-спасательных операций. Благодаря возможности определения интенсивности осадков по одному изображению, а также за счет уменьшения количества операций свертки и умножения, характерных для известных аналогичных способов, предлагаемый способ обладает меньшей вычислительной сложностью и может применяться на подвижных носителях в режиме реального времени. Результат достигается путем использования таких методов цифровой обработки изображений, как построение ориентированной гистограммы градиентов, цифровая фильтрация, дискретная свертка, вейвлет-анализ. Использование предложенного способа в составе бортового радиоэлектронного комплекса обеспечения поисково-спасательных операций позволит повысить ситуационную информированность экипажа на различных этапах полета воздушного судна.

Ключевые слова: обнаружение осадков, системы улучшенного видения, определение интенсивности осадков, цифровая обработка изображений.

Введение

В настоящее время одним из наиболее востребованных направлений модернизации бортовых радиоэлектронных комплексов воздушных судов как гражданского, так и ведомственного назначения является применение систем улучшенного или синтезированного видения. Такие системы содержат в своем составе датчики изображений закабинного пространства, работающие в различных диапазонах спектра: видимом, инфракрасном, радиолокационном и т. д. Благодаря свойствам электромагнитных волн различных диапазонов комплексирование,

автоматическая совместная обработка и индикация разносектральных данных позволяют экипажу получать оперативную информацию об окружающей обстановке даже в темное время суток и в сложных метеорологических условиях. Эти характеристики систем улучшенного видения определяют особую актуальность их использования в составе комплексов обеспечения поисково-спасательных операций.

Алгоритмическое и программное обеспечение систем улучшенного видения, помимо пространственно-временной синхронизации разносектральных кадров и синтеза единого

* Работа проведена в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 (Проект 218) в рамках НИОКТР, выполняемой при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 03.G25.31.0294). Работы выполняются в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова.

комплексированного видеоизображения, решает множество дополнительных задач. К ним относятся предварительная обработка изображений отдельных спектральных каналов, обнаружение и распознавание объектов заданных типов, а также оценка метеорологических условий, в том числе определение интенсивности осадков методом анализа видеоданных. Последней задаче и посвящена данная статья.

Традиционными способами определения интенсивности осадков являются методы прямого измерения объема осадков, собираемых в специальные осадкосборные устройства [1, 2], либо количества капель осадков, пролетающих через пространство между обкладками специальных измерительных конденсаторов [3]. Данные способы обеспечивают высокую точность измерений, однако их применимость существенно ограничена, поскольку для реализации требуются специальные условия организации процесса сбора осадков (минимизация воздействия ветра на прибор, а также влияния самой станции на воздушный поток и т.д.). Известны дорогостоящие системы, основанные на зондировании исследуемой области атмосферы с помощью поочередно посылаемых оптических лазерных [4], радиолокационных [5] или акустических импульсов [6]. В процессе зондирования осуществляется прием обратного рассеянного излучения с последующей обработкой принятых сигналов и анализом метеорологических параметров. Указанные системы требуют специальной настройки, монтажа и обслуживания, обладают высоким энергопотреблением.

Известен ряд способов, позволяющих получать информацию о наличии осадков и уровне их интенсивности на основе видеоданных [7–13]. Все эти способы 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.

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

Описание способа

Присутствие осадков на видеоизображении, помимо общего снижения контрастности, приводит 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 рис. 1а. Суть способа заключается в выделении этих аномалий (рис. 1б) и оценке их количества на изображении [14].

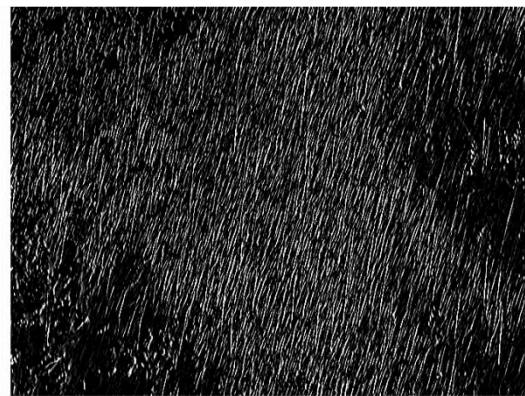
Как можно заметить на рис. 1а, следы выпадения дождя имеют вид протяженных линий с близким друг к другу углом наклона, поэтому на первом этапе необходимо определить преимущественное направление выпадения осадков. На втором и третьем этапах производится выделение линий изображения, параллельных рассчитанному направлению (рис. 1б). На последнем этапе определяется интенсивность следов выпадения дождя, причем ее необходимо нормировать относительно размера изображения. Интенсивность следов выпадения дождя зависит от объема 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]



а)



б)

Рисунок 1. Пример дождя в виде сонаправленных протяженных линий: а – исходное изображение; б – выделенные аномалии

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

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

Здесь $i = 0 \dots N-1, j = 0 \dots M-1$, где N и M – размеры изображения по горизонтали и вертикали соответственно. Для нахождения частных производных $\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}$ и $\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}$ в каждой точке изображения (исключая его границы) осуществляется дискретная свертка функции яркости изображения с масочными операторами Собеля S_x и S_y методом скользящего окна:

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

$$\frac{\partial I(i, j)}{\partial j} = \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 I(i+n-1, j+m-1) S_y(n, m),$$

где маски S_x и S_y представляют собой двумерные дискретные множества весовых коэффициентов с размерностью 3×3 следующего вида [8]:

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

После нахождения градиентов в каждой точке изображения по формулам (1) и (2) строится их ориентированная гистограмма [16]. Ориентированная гистограмма градиентов двумерной функции яркости изображения состоит из следующих угловых компонент: $0^\circ (180^\circ)$, $30^\circ (210^\circ)$, $45^\circ (225^\circ)$, $60^\circ (240^\circ)$, $\pm 90^\circ$, $120^\circ (-60^\circ)$, $135^\circ (-45^\circ)$, $150^\circ (-30^\circ)$. 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.

2. 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

$$S_0 = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix}, S_{30} = \begin{vmatrix} 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix},$$

$$S_{45} = \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{vmatrix}, S_{60} = \begin{vmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

$$S_{90} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}, S_{120} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -2 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix},$$

$$S_{135} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{vmatrix}, S_{150} = \begin{vmatrix} 0 & -2 & -2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}.$$

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 маски 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 (рис. 2а, 2б) с маской S_{90} представлены на рис. 2в и 2г соответственно. Как видно, контур выделяемого изображения (препарат [7]) $R(i, j)$, 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:

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

Вейвлеты Хаара представляют собой кусочно-постоянные функции, заданные на конечных интервалах различных масштабов и принимающие значения -1 или $+1$ [17, 18]. В настоящее время они находят широкое применение при обработке изображений для поиска объектов на нем [8].

Для детектирования «линий дождя» предлагается использовать вейвлеты Хаара H_θ с различными углами наклона θ , изображенные на рис. 3.

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

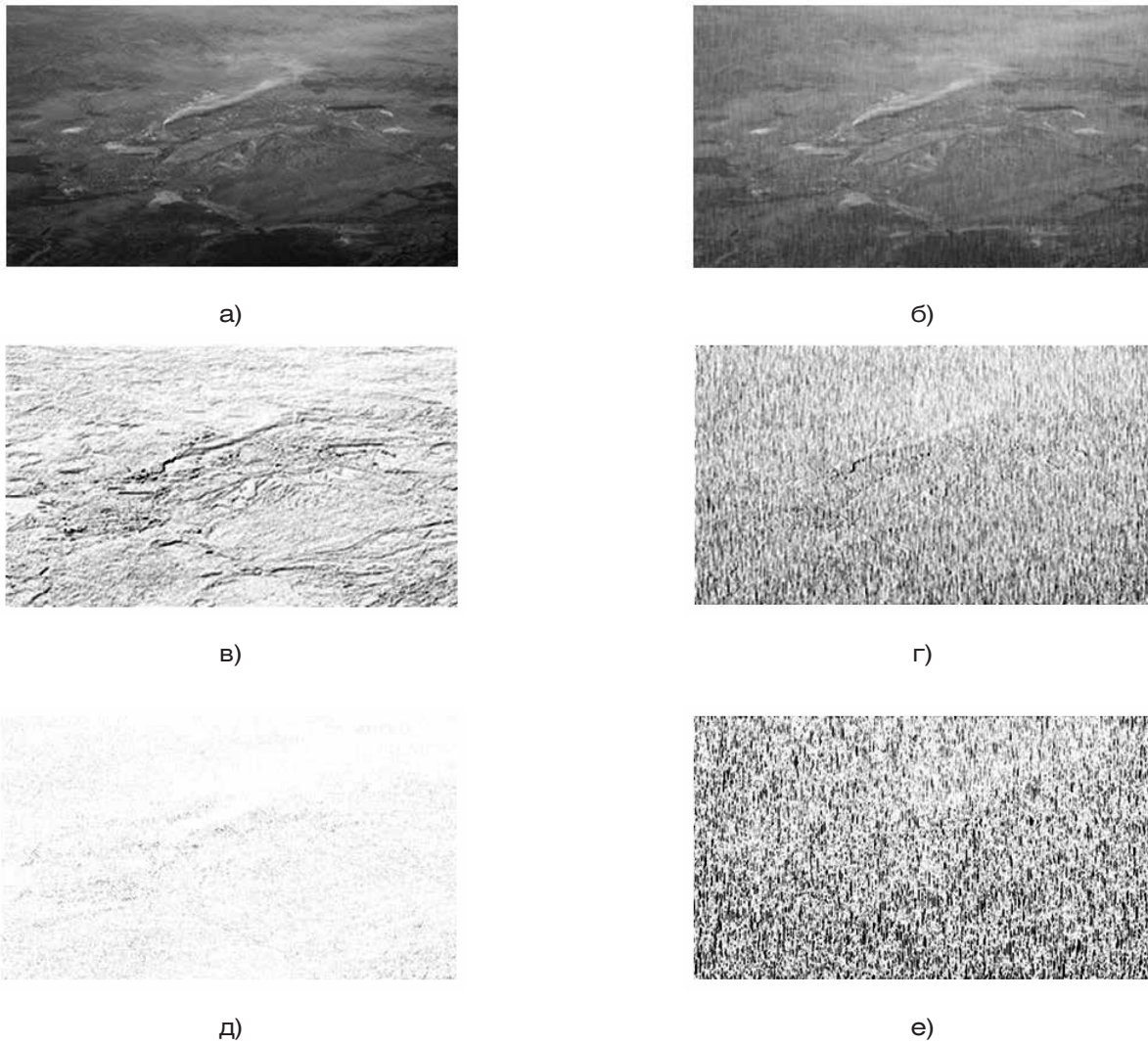


Рисунок 2. Изображения видимого диапазона без дождя (слева) и с дождем (справа) и результаты их обработки: а, б – исходные; в, г – первая свертка; д, е – свертка с соответствующим вейвлетом Хаара (в, г, е – представлены с инверсными цветами)

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

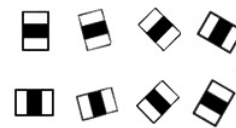


Рисунок 3. Разновидности вейвлетов Хаара для детектирования тонких линий с различными углами наклона

направлению вектора градиента изображения, вычисленному на первом этапе алгоритма.

Результаты свертки препаратов $R(i, j)$ с вейвлетом Хаара представлены на рис. 2д, 2е.

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

$$J^{\text{rain}} = \frac{\sum_i \sum_j G(i, j)}{MN}, \tag{9}$$

Дискретная свертка осуществляется аналогично (3) с той маской H_θ – угловая ориентация θ которой соответствует преимущественному

Таблица. Статистические характеристики интенсивности регулярных протяженных «линий дождя»

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

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.

Результаты исследований

1. В результате обработки выборки изображений (более пятидесяти), полученных имитационным математическим моделированием, на которых отсутствуют или присутствуют осадки в виде дождя различной интенсивности (слабый, средний и сильный дождь), получены их статистические характеристики, приведенные в таблице.

В результате обработки полученных статистических данных определены пороговые значения, которые позволяют установить соответствие полученных оценок и интенсивности осадков:

- от 0 до 6 – дождь отсутствует;
- от 6 до 12 – «слабый дождь», что соответствует морозящему дождю с интенсивностью осадков от 0,1 до 0,4 мм/ч;
- от 12 до 18 – «средний дождь», что соответствует обложному дождю от 0,4 до 1 мм/ч;
- свыше 18 – «сильный дождь», что соответствует ливню от 1 мм/ч.

2. Проведенный анализ показал, что изменение яркости изображений изменяет оценку интенсивности дождя не более чем на 20%; изменение контрастности изображения – не более чем на 10% (т.е. практически не оказывает влияния); изменение размера изображения – не более чем на 25%.

3. Исследование возможности использования последовательности изображений (видео) проводилось при неподвижной и подвижной камерах. 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. Такая оценка оказалась возможна как для неподвижной, так и для подвижной камеры. Дисперсия ошибки оценивания при этом составила около 2% от ее математического ожидания.

Выводы

Разработан способ обнаружения и оценки интенсивности осадков в виде дождя [14]. Существующие способы [7–13] 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.

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 2% от среднего значения.

Предложенный метод может использоваться для обнаружения осадков и определения уровня их интенсивности в бортовых радиоэлектронных комплексах обеспечения поисково-спасательных операций. Его внедрение будет особенно эффективно при комплексировании полученной информации с информацией, поступающей от геоинформационных систем [19–23], что обеспечивает повышение информативности комплекса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 1728830 (СССР), МПК7 G 01 W 1/14. Осадкомер / Куринный С. А., Рогоцкий В. В. Заявитель и патентообладатель: Государственный гидрологический институт и Валдайский филиал Государственного гидрологического института. Заявка № 4714509/10; заявл. 04.07.89, опублик. 15.01.93. Бюл. № 15.
2. Патент РФ № 2054730, МПК Н 01 J 9/04. Способ изготовления многолучевого электронного прибора / Розинский Л. С., Савченков А. Г., Буданова В. Н. и др. Заявитель и патентообладатель: АОО «Эмитрон». Заявка № 5067762/07; заявл. 29.06.1992, опублик. 20.02.1996.

3. Патент РФ № 2097797, МПК G 01 W 1/14. Индикатор атмосферных осадков / Белый Д. М. Заявитель и патентообладатель: Ульяновский государственный технический университет. Заявка № 94043956/28; заявл. 14.12.1994, опубл. 27.11.1997.
4. А.с. № 1187595 (СССР), МПК7 G 01 W 1/16. Способ дистанционного измерения атмосферных параметров / Зуев В. Е., Макушин Ю. С., Пономарев Ю. Н., Тихомиров Б. Л. Заявитель и патентообладатель: Институт оптики атмосферы СО АН СССР. Заявка № 3604918/10; заявл. 11.04.83, опубл. 30.02.93. Бюл. № 4.
5. Патент РФ № 2097798, МПК G 01 W 1/14. Способ измерения осадков / Байсиев Х.-М. Х., Атабиев М. Д., Залиханов М. Ч., Капитанников А. В. Заявитель и патентообладатель: ТОО Фирма «Атаби». Заявка № 95115647/28; заявл. 05.09.1995, опубл. 27.11.1997.
6. А.с. № 932435 (СССР), МПК7 G 01 W 1/14. Способ измерения интенсивности атмосферных осадков / Съедин В. Я., Шамаанаева Л. Г. Заявитель и патентообладатель: Институт оптики атмосферы Томского филиала Сибирского отделения АН СССР. Заявка № 2771711/18–10; заявл. 28.05.79, опубл. 30.05.82. Бюл. № 20.
7. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 608 с.
8. Barnum P. C., Narasimhan S., Kanade T. Analysis of rain and snow in frequency space. *International Journal of Computer Vision*, 2010, vol. 86, no. 2–3, pp. 256–274.
9. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2005, vol. 1, pp. 886–893.
10. Garg K., Nayar S. K. Detection and removal of rain from videos. *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004, vol. 521, pp. I-528–I-535.
11. Malekshahi G., Ebrahimnezhad H. Detection and Removal of Rain from Video Using Predominant Direction of Gabor Filters. *Journal of Information Systems and Telecommunication*. 2015, vol. 3, no. 1, pp. 41–49.
12. Shen M., Xue P. A fast algorithm for rain detection and removal from videos. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2011, pp. 1–6.
13. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2001, vol. 1, pp. 511–518.
14. Патент РФ № 2611696. Способ определения интенсивности осадков в реальном времени в авиационных системах улучшенного видения / Петров Ю. В., Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М. и др. Заявитель и патентообладатель: Российская Федерация в лице Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России). Заявка № 2015147463; заявл. 03.11.2015, опубл. 28.02.2017. Бюл. № 7.
15. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И. С. Грузман, В. С. Киричук и др. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 352 с.
16. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. М.: Мир, 2001. 412 с.
17. Park W.-J., Lee K.-H. Rain removal using Kalman filter in video. *International Conference on IEEE*, 2008, pp. 494–497.
18. Anuj B., Rashid A. Image compression using modified fast Haar wavelet transform. *World Applied Sciences Journal*, 2009, vol. 7, no. 5, pp. 647–653.
19. Коробочкин Д. М., Мичурин С. В., Петров Ю. В., Семенова Е. Г. Комплексирование оценок рельефа местности, полученных бортовым радиолокатором в моноимпульсном режиме с геоинформационными данными // *Вопросы радиоэлектроники*. 2016. № 9. С. 17–22.
20. Коробочкин Д. М., Петров Ю. В. Методика расчета прироста информативности при комплексировании оценок рельефа местности, полученных бортовым радиолокатором в моноимпульсном режиме с геоинформационными данными // *Вопросы радиоэлектроники*. 2016. № 9. С. 41–44.
21. Гармаш В. Н., Петров Ю. В. Оценка информативности радиолокационных изображений при их совмещении с цифровыми картами местности // *Информация и космос*. 2011. № 1. С. 41–46.
22. Zhang X., 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 Multimedia and Expo*, 2006, pp. 461–464.
23. Zhao X., Liu P., Liu J., Xianglong T. The application of histogram on rain detection in video. *Proceedings of the 11th Joint Conference on Information Science*, 2008.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Юрий Витальевич, к.т.н., доцент, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1, тел.: 8 (921) 926-63-39, e-mail: petrov-i4@yandex.ru.

Гармаш Виталий Николаевич, к.т.н., АО «Заслон», 196084, Санкт-Петербург, ул. Коли Томчака, д. 9, тел.: 8 (960) 234-83-24, e-mail: gar-vitalij@yandex.ru.

Коробочкин Дмитрий Михайлович, к.т.н., ООО «Ситимап», 199178, Санкт-Петербург, Малый пр-т В. О., д. 54, к. 2, тел.: 8 (911) 153-58-67, e-mail: dmitriy.korobochkin@gmail.com.

For citation: Petrov Yu. V., Garmash V. N., Korobochkin D. M. The detection of precipitation and the determination of their intensity level based on images generated by the visible range camera. *Voprosy radioelektroniki*, 2018, no. 7, pp. 131–138. DOI 10.21778/2218-5453-2018-7-131-138

Yu. V. Petrov, V. N. Garmash, D. M. Korobochkin

THE DETECTION OF PRECIPITATION AND THE DETERMINATION OF THEIR INTENSITY LEVEL BASED ON IMAGES GENERATED BY THE VISIBLE RANGE CAMERA

This article provides a method for the automatic detection of precipitation and estimation of their intensity in the images generated by the camera in the visible range. With the ability to determine the rainfall intensity in one image and by reducing the number of operations of convolution and multiplication, characteristic of known similar methods, the proposed has a lower computational complexity and can be used on mobile platforms in real-time mode. The result is achieved by using such methods of digital image processing as the construction of a histogram of oriented gradients (HoG), digital filtering, discrete convolution and wavelet analysis. The main direction of the proposed method is implementation in enhanced and synthetic vision systems as a part of onboard radio-electronic complexes of aviation for the purpose to increase of situational awareness of crew at various stages of flight of the aircraft.

Keywords: rainfall detection, enhanced vision systems, rainfall intensity estimation, digital image processing.

REFERENCES

1. A.s. № 1728830 (SSSR). MPK7 G 01 W 1/14. Osadkomer [Precipitation gauge]. Kurinny S.A., Rogotskiy V.V. Zayavitel i patentoobladatel: Gosudarstvennyi gidrologicheskii institut I Valdaiskii filial Gosudarstvennigj gidrologicheskigj instityuta. Zayavka № 4714509/10; zayavl. 04.07.89, opubl. 15.01.93. Bul. no. 2 (In Russian).
2. Patent RF № 2054730, MPK H 01 J 9/04. Sposob izgotovleniya mnogoluchevogo elektronnoyego pribora [Multi-beam electronic device manufacturing method]. Rozinskiy L. S., Savchenkov A. G., Budanova V. N. et al. Zayavitel i patentoobladatel: AO «Emitron». Zayavka № 5067762/07; zayavl. 29.06.1992, opubl. 20.02.1996 (In Russian).
3. Patent RF № 2097797, MPK G 01 W 1/14. Indikator atmosferykh osadkov [Precipitation indicator]. Belyi D. M. Zayavitel i patentoobladatel: Ulyanovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. Zayavka № 94043956/28; zayavl. 14.12.1994, opubl. 27.11.1997 (In Russian).
4. A.s. № 1187595 (SSSR). MPK7 G 01 W 1/16. Sposob distantsionnogo izmereniya atmosferykh parametrov [Atmospheric parameters remote measurement method]. Zuev V. E., Makushin Yu. S., Ponomarev Yu. N., Tikhomirov B. L. Zayavitel i patentoobladatel: Institut optiki atmosfery SO AN SSSR. Zayavka № 3604918/10; zayavl. 11.04.83, opubl. 30.02.93. Bul. no. 4 (In Russian).
5. Patent RF № 2097798, MPK G 01 W 1/14. Sposob izmereniya osadkov [Precipitation measurement method]. Baisiev Kh.-M. Kh., Atabiev M. D., Zalikhonov M. Ch., Kapitannikov A. V. Zayavitel i patentoobladatel: TOO Firma «Atabi». Zayavka № 95115647/28; zayavl. 05.09.1995, opubl. 27.11.1997 (In Russian).
6. A.s. № 932435 (SSSR). MPK7 G 01 W 1/14. Sposob izmereniya intensivnosti atmosferykh osadkov [Precipitation intensity measuring method]. Sedin V. Ya., Shamanaeva L. G. Zayavitel i patentoobladatel: Institut optiki atmosfery Tomskogo filiala SO AN SSSR. Zayavka № 2771711/18–10; zayavl. 28.05.79, opubl. 30.05.82. Bul. no. 20 (In Russian).
7. Krasilnikov N. N. *Cifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazhenij: uchebnoe posobie* [Digital processing of 2D- and 3D-images]. Saint-Petersburg, BHV-Peterburg, 2011, 608 p. (In Russian).
8. Barnum P. C., Narasimhan S., Kanade T. Analysis of rain and snow in frequency space. *International Journal of Computer Vision*, 2010, vol. 86, no. 2–3, pp. 256–274.
9. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2005, vol. 1, pp. 886–893.
10. Garg K., Nayar S. K. Detection and removal of rain from videos. *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004, vol. 521, pp. I-528–I-535.
11. Malekshahi G., Ebrahimnezhad H. Detection and Removal of Rain from Video Using Predominant Direction of Gabor Filters. *Journal of Information Systems and Telecommunication*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 41–49.
12. Shen M., Xue P. A fast algorithm for rain detection and removal from videos. *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2011, pp. 1–6.
13. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2001, vol. 1, pp. 511–518.
14. Patent RF № 2611696. Sposob opredeleniya intensivnosti osadkov v realnom vremeni v aviacionnykh sistemakh uluchshennogo videniya [A method for determining the precipitation intensity in real time in improved vision aviation systems]. Petrov Yu. V., Garmash V. N., Korobochkin D. M. et al. Zayavitel i patentoobladatel: Rossiyskaya Federatsiya v litse Ministerstva promyshlennosti i trgovli Rossiyskoy Federatsii (Minpromtorg Rossii). Zayavka № 2015147463; zayavl. 03.11.2015, opubl. 28.02.2017. Bul. no. 7 (In Russian).
15. Gruzman I. S., Kirichuk V. S. et al. *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionnykh sistemakh: uchebnoe posobie* [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk, Izd-vo NGTU Publ., 2002, 352 p. (In Russian).
16. Chui Ch. *Vvedenie v veyvlety* [Introduction to wavelets]. Moscow, Mir Publ., 2001, 412 p. (In Russian).
17. Park W.-J., Lee K.-H. Rain removal using Kalman filter in video. *International Conference on IEEE*, 2008, pp. 494–497.
18. Anuj B., Rashid A. Image compression using modified fast Haar wavelet transform. *World Applied Sciences Journal*, 2009, vol. 7, no. 5, pp. 647–653.
19. Korobochkin D. M., Michurin S. V., Petrov Yu. V., Semenova E. G. The aggregation of terrain estimates, obtained on-Board radar monopulse mode, with GIS data. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, no. 9, pp. 17–22 (In Russian).

20. Korobochkin D.M., Petrov Yu.V. The method of informativeness increase calculation when integrating terrain estimates, obtained on-Board radar monopulse mode, with GIS data. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, no. 9, pp. 41–44 (In Russian).
21. Garmash V.N., Petrov Yu.V. Radar images informativeness evaluation when combined with digital maps. *Informatsiya i kosmos*. 2011. no. 1, pp. 41–46 (In Russian).
22. Zhang X., 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 Multimedia and Expo*, 2006, pp. 461–464.
23. Zhao X., Liu P., Liu J., Xianglong T. The application of histogram on rain detection in video. *Proceedings of the 11th Joint Conference on Information Science*, 2008.

AUTHORS

Petrov Yuriy, PhD, associate professor, Baltic State Technical University VOENMEH, 1, 1ya Krasnoarmeyskaya ulitsa, Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation, tel.: +7 (921) 926-63-39, e-mail: petrov-i4@yandex.ru.

Garmash Vitaliy, PhD, JSC Zaslou, Saint-Petersburg, 9, ulitsa Koli Tomchaka, 196084, Russian Federation, tel.: +7 (960) 234-83-24, e-mail: gar-vitalij@yandex.ru.

Korobochkin Dmitriy, PhD, Sitimap Ltd, 54/2, Maly prospekt V. O., Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation, tel.: +7 (911) 153-58-67, e-mail: dmitriy.korobochkin@gmail.com.