

*А. А. Васильченко<sup>1</sup>, Г. А. Коптелов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, г. Серпухов, Российская Федерация*

## **ВЫДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ФОТОСНИМКАМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГИСТОГРАММ**

**Аннотация.** Рассматривается моделирование процесса выделения воздушных объектов по графическим изображениям на основе выделения характерных признаков цветовой гистограммы в системе трехцветового отображения RGB – красный, зеленый, синий. Обнаружение признаков возможно непосредственно по каналам высокоскоростной съемки. Из анализа границ диапазонов цветовых гистограмм и их последующей трансформации следует возможность определения первичных и вторичных областей изображений, характерных для искусственных воздушных объектов, - следы двигателей или его пламя. Показано, что из-за зашумленности фотоснимков необходим переход в цветовое пространство цветоразностных сигналов YCrCb – суммарная (яркостная), красная и синяя цветоразностные компоненты. Это влечет изменение границ диапазонов гистограмм распределений яркости, а также красной и синей цветоразностной компонент в зависимости от степени зашумленности снимка.

**Ключевые слова:** гистограмма, воздушный объект, выделение объектов, траекторные измерения, полигон, испытания, измерительный комплекс, цветовое пространство.

*A.A. Vasilchenko<sup>1</sup>, G.A.Koptelov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great, Serpukhov, Russia*

## **ALLOCATION OF AIR OBJECTS ON PICTURES A METHOD OF THE ANALYSIS OF HISTOGRAMS**

**Abstract.** In article modelling of process of allocation of air objects on graphic representations is considered. Under the considered image in system of display RGB it is possible to allocate histograms corresponding to everyone colour. Further analyzing borders of ranges of the given histograms and their subsequent reduction there are primary and secondary areas on images, characteristic for air objects, such as traces of engines or its flame. In the conditions of a finding of noise on pictures in colour space YCrCb and change of borders of change of ranges of histograms of distributions for components of brightness, a red and dark blue colour component transition is necessary for various degree of noise. Having found out the given signs it is possible to carry out directly allocation of air objects on channels of high-speed shooting.

**Keywords:** the histogram, air object, allocation of objects, trajectory measurement, range, tests, a measuring complex, colour space.

### **Введение**

Выделение и последующее распознавание воздушных объектов по их оптическому изображению - важная задача робототехники, компьютерного зрения, а также при решении проблем прикладного характера.

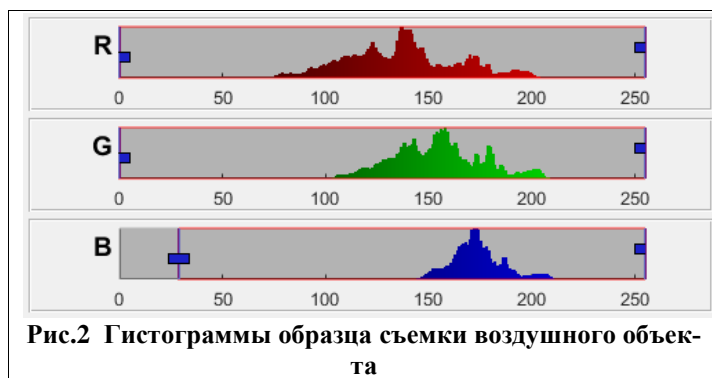
Решение этой задачи может существенно повысить возможности искусственных систем автоматизированного восприятия окружающее пространство с иерархическим выделением в нем отдельных логических частей, объектов и элементов окружающего мира с целью осуществления взаимодействия с объектами [1-3].



Рис.1 Образец съемки воздушного объекта

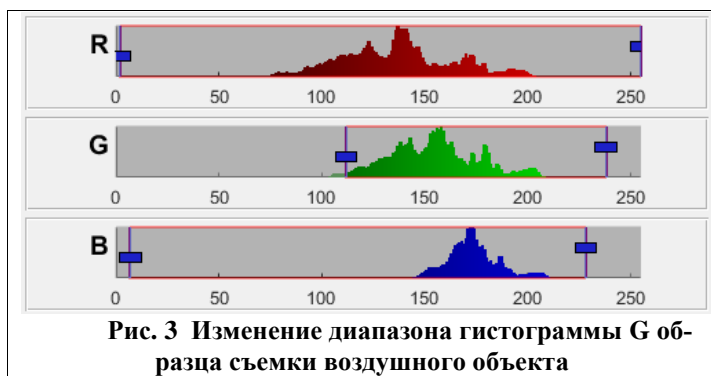
В настоящее время для решения этой задачи используется множество различных методов: выделение краев, цветовое сегментирование изображения, применение искусственных нейронных сетей, использование особых точек, методы сравнения с эталоном, методы генерации признаков [4-5]. Но все еще не достигнута достаточная адекватность выделения и распознавания объектов в реальном времени, что не позволяет достичь требуемых показателей в реальных задачах [6].

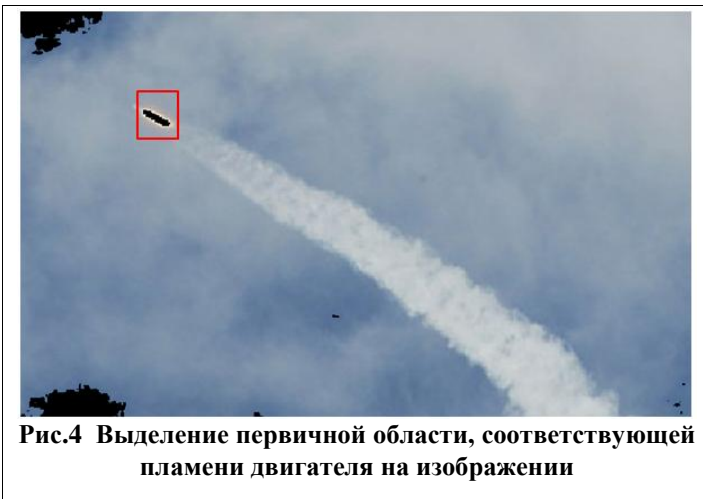
Особое значение данная задача приобретает при организации построения траекторий движения в пространстве и измерения параметров полетов воздушных объектов при испытаниях авиационной техники на трассово-измерительных комплексах.



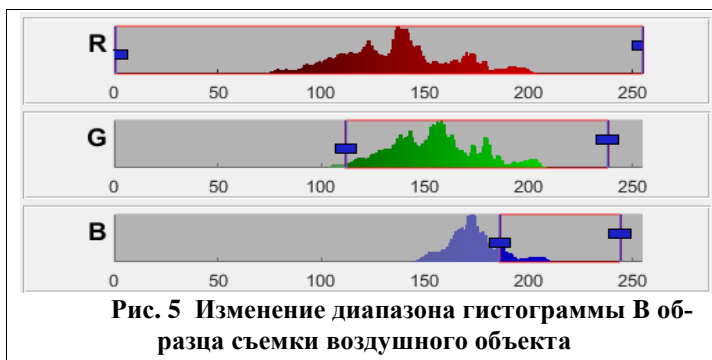
## 1. Регистрация воздушных объектов

Для регистрации воздушных объектов (ВО) используются оптические средства траекторных измерений (ОСТИ), представляющие собой совокупность функционально и конструктивно взаимосвязанных узлов и механизмов, предназначенных для определения абсолютного и относительного положений в пространстве движущихся объектов и для регистрации явлений, происходящих с этими объектами при их взаимодействии. ОСТИ являются одним из основных элементов измерительного комплекса и могут выполнять свои задачи как автономно, так и совместно с другими средствами траекторных измерений. ОСТИ могут представляться в виде систем или отдельных оптических станций.





**Рис.4 Выделение первичной области, соответствующей пламени двигателя на изображении**



**Рис. 5 Изменение диапазона гистограммы В образца съемки воздушного объекта**

электронными станциями, представляет собой поток фотоизображений с частотой съемки от 30 кадров в секунду, проведем анализ 500 изображений. Рассматриваемые фотоснимки учитывают различные ракурсы ВО, различные погодные условия, в которых производилась съемка, и различное количество ВО. Пример одного из исследуемых фотоснимков траекторной информации представлен на рисунке 1.

На фотоснимках, составляющих обучающую выборку, нет идентичных ВО или ВО, имеющих высокую схожесть. Однако на каждом фотоснимке присутствуют вторичные признаки ВО, в качестве которых выступают пламя двигателей ВО и конденсационный след его движения.



**Рис. 6 Выделение вторичной области, соответствующей пламени двигателя и воздушного объекта на изображении**

В настоящее время для траекторных измерений используются мобильные оптико-электронные станции, обеспечивающие точность определения местоположения ВО в пределах угловых секунд. Данная съемка воздушных объектов производится на больших высотах и в сложных погодных условиях, что затрудняет их поиск оператором, а при отсутствии должного уровня подготовки специалиста испытательного пункта, выполняющего съемку траекторной информации, становится и вовсе невозможной. В подобных ситуациях возникает необходимость автоматического выделения с целью сокращения времени поиска воздушного объекта и формирования наиболее полного объема траекторной информации. Поскольку воздушные объекты движутся с высокими скоростями, то алгоритм распознавания должен обладать высоким быстродействием и относительной простотой.

В связи с тем, что траекторная информация, получаемая оптико-

электронными станциями, представляет собой поток фотоизображений с частотой съемки от 30 кадров в секунду, проведем анализ 500 изображений. Рассматриваемые фотоснимки учитывают различные ракурсы ВО, различные погодные условия, в которых производилась съемка, и различное количество ВО. Пример одного из исследуемых фотоснимков траекторной информации представлен на рисунке 1.

**2. Первичная обработка незашумленного изображения**

Первичной процедурой выделения объектов может служить процедура формирования и анализа гистограммы изображений. Анализ гистограмм проводился по выборке снимков траекторной информации при различных погодных условиях в количестве 500 снимков траекторной информации воздушных объектов (самолетов, баллистических ракет, управляемых реактивных снарядов). При этом были выделены границы распределения значений яркости по трем цветам (красный, зеленый, синий) в системе отображения RGB. Границы распределений находятся в диапазоне яркости от 40 до 230 и имеют закон

жения RGB. Границы распределений находятся в диапазоне яркости от 40 до 230 и имеют закон

110 распределения схожий с нормальным законом. Вид исследуемых гистограмм и изменение диапазонов их границ для рассматриваемого образца ВО представлены на рисунках 2-3.

Путем анализа и совмещения по соответствующим цветам большого количества изображений на фоне неба можно получить групповые гистограммы изображений. По данным обобщенным гистограммам отчетливо видно, что количество возникающих на них пиков яркости не превышает значения четырех.

Далее, путем изменения диапазонов гистограмм по соответствующим цветам и выборов пороговых значений границ этих диапазонов можно выделять характерные признаки воздушных объектов. В нашем случае, изменяя диапазон гистограммы G, можно выделить область на изображении, которая характерна пламени двигателя воздушного объекта (ракеты). Данное изменение границы диапазона гистограммы G и выделение первичной области показано на рисунках 3-4.

Однако в этом случае требуется проверка, заключающаяся в изменении диапазона гистограммы B и ее анализ. Изменение границы диапазона гистограммы B и выделение вторичной области показано на рисунках 5-6. В ходе выполнения процесса выделения необходимо изменение диапазонов распределений яркости для зеленого и синего цвета. При этом изменение диапазона яркостей более существенно для синего цвета (от 150 до 190). Все операции возможны только в системе отображения RGB.

По полученному преобразованному изображению четко виден след двигателя, след пламени двигателя и непосредственно от него может быть определен сам воздушный объект.

Таким образом, анализ гистограмм и выбор соответствующих пороговых значений на данных гистограммах может быть использован для выделения воздушных объектов.

### 3. Алгоритм обработки зашумленного изображения

В случае наличия шумов на изображениях траекторной информации четкого выделения



Рис. 7 Образец съемки воздушного объекта с наложенными шумами

воздушных объектов добиться не представляется возможным. Необходимо перейти к системе отображения YCbCr и дальнейший анализ полученных гистограмм компоненты яркости, синей и красной цветоразностной компонент. Образец снимка воздушного объекта с наложенными шумами представлен на рисунке 7.

В ходе моделирования было определено, что для выполнения выделения воздушного объекта по снимку траекторной информации в цветовом пространстве YCbCr необходимо изменение распределения диапазона компоненты яркости от 220 до 250, изменение диапазона распределения синей и красной цветоразностных компонент от 100 до 150. Результат изменения диапазонов распределений представлен на рисунке 8.

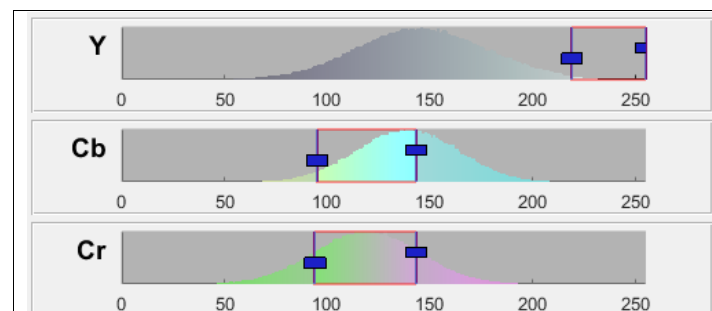


Рис. 8 Изменение диапазона гистограмм цветового пространства YCbCr с целью выделения воздушного объекта

В ходе выполняемого изменения диапазонов гистограмм представляется возможным выделить белой области, соответствующей пламени двигателя воздушного объекта, благодаря чему ста-

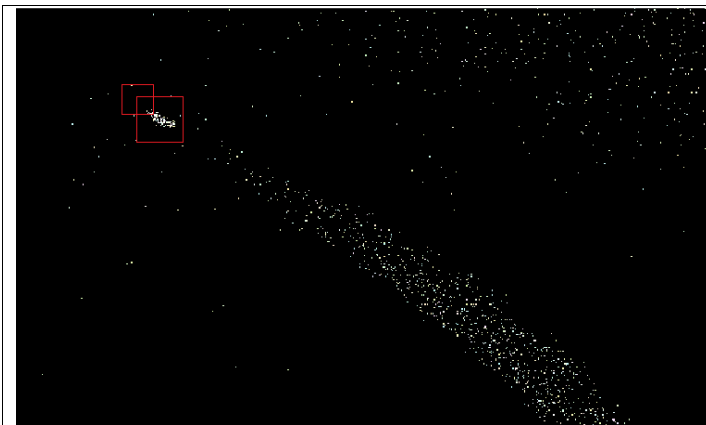


Рис. 9 Выделение области, соответствующей пламени двигателя и воздушного объекта на изображении

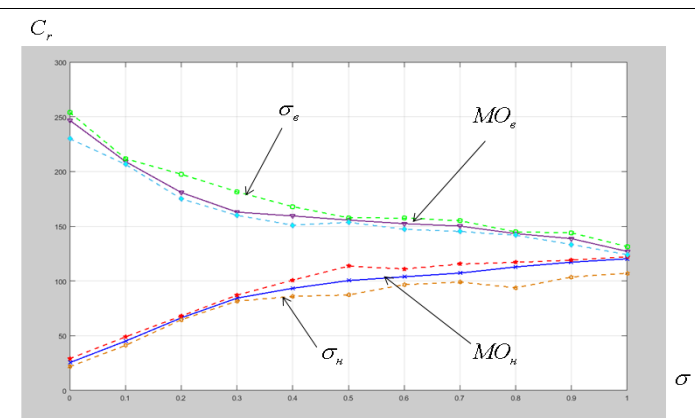


Рис. 10 Графики зависимости значений МО и СКО границ изменения диапазонов распределений красной цветоразностной компоненты

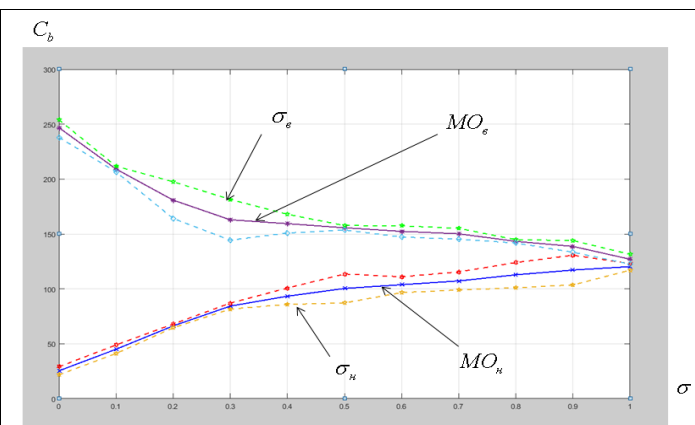


Рис. 11 Графики зависимости значений МО и СКО границ изменения диапазонов распределений синей цветоразностной компоненты

выражения зависимости границ диапазонов гистограмм от значений  $\sigma$ . На базе метода планирования эксперимента и анализа полиномов различных степеней экспериментально было установлено, что наибольшее сходство имеют выражения, описываемые полиномами четвертой степени и имеющие вид:

$$Y(\sigma) = -104.8951 \cdot \sigma^4 + 371.0179 \cdot \sigma^3 - 459.324 \cdot \sigma^2 + 258.9 \cdot \sigma + 168.7133, \quad (1)$$

новится возможным выделение непосредственно самого воздушного объекта. Результат выделения областей представлен на рисунке 9.

В ходе проведения имитационного моделирования в среде программирования MATLAB2017, пользуясь функцией наложения шума на изображение, были определены границы диапазонов гистограмм распределений компонент яркости, синей и красной цветоразностной компонент. Поскольку наложенный шум представляет собой случайную величину с нормальным законом распределения, то в качестве аргументов функции наложения шума использовались: значения математического ожидания  $m$  (выбрано приведенное значение, равное 0) и среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma$  (рассматривались приведенные значения в диапазоне от 0 до 1). При этом для каждого значения  $\sigma$  были определены значения нижней и верхней границ диапазонов гистограмм компоненты яркости  $Y$ , синей  $C_b$  и красной цветоразностной компонент  $C_r$ , при значениях которых воздушная цель была однозначно выделена по изображению с траекторной информацией с наложенным шумом.

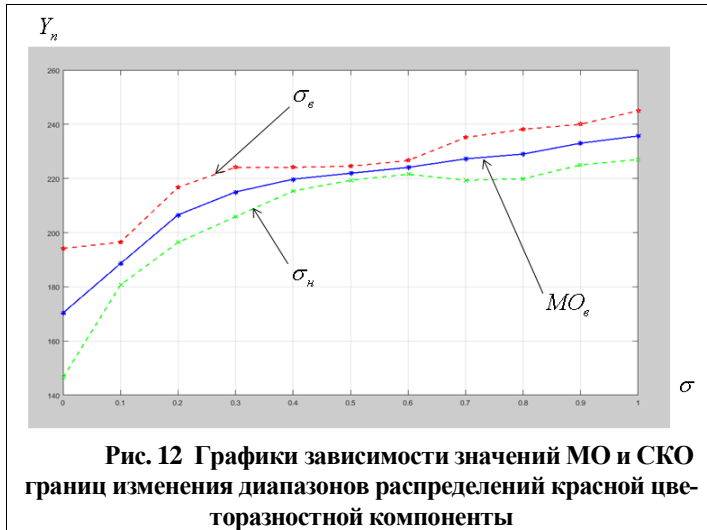
Следует отметить, что верхняя граница компоненты яркости не меняет своего положения и принимает максимальное значение при любых значениях  $\sigma$ . В свою очередь, значения нижней границы, как для синей, так и красной цветоразностных компонент увеличиваются при увеличении  $\sigma$ , а значения верхней границы уменьшаются, тем самым формируя узкую гистограмму распределений цветовых компонент.

Используя метод наименьших квадратов, определим аналитические

$$\begin{cases} G_{b_{-н}} = -37.87 \cdot \sigma^4 + 229.4095 \cdot \sigma^3 - 387.5 \cdot \sigma^2 + 289.8504 \cdot \sigma + 28.6993 \\ G_{b_{-е}} = 244.7552 \cdot \sigma^4 - 786.7133 \cdot \sigma^3 + 874.9417 \cdot \sigma^2 - 438.4732 \cdot \sigma + 240.44 \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} G_{r_{-н}} = 69.93 \cdot \sigma^4 + 15.9285 \cdot \sigma^3 - 259.09 \cdot \sigma^2 + 270.085 \cdot \sigma + 22.8811 \\ G_{r_{-е}} = 163.1702 \cdot \sigma^4 - 665.889 \cdot \sigma^3 + 840.3263 \cdot \sigma^2 - 452.781 \cdot \sigma + 245.545 \end{cases}, \quad (3)$$

Полученные выражения позволяют автоматически рассчитывать значения границ диапазонов гистограмм компоненты яркости  $Y$ , синей  $C_b$  и красной цветоразностной компонент  $C_r$  при оценивании зашумленности изображений с траекторной информацией о движении ВО для рассматриваемого фотоснимка. Подобным образом были определены полиномы для других 499 фотоснимков траекторной информации из анализируемой выборки.



**Рис. 12** Графики зависимости значений МО и СКО границ изменения диапазонов распределений красной цветоразностной компоненты

Далее были определены значения математического ожидания (МО) (по всем фотоснимкам) нижней и верхней границ изменения диапазонов гистограмм распределений для цветowych компонент фотоснимков ВО, описываемые следующими выражениями:

$$Y_{cp}(\sigma) = \frac{\sum_{i=0}^m A_i \sigma^{i-1}}{k}, \quad (4)$$

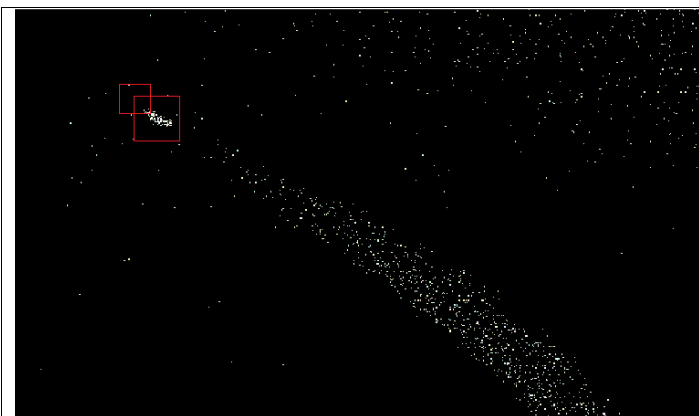
$$G_{b_{-cp}}(\sigma) = \frac{\sum_{i=0}^m B_i \sigma^{i-1}}{k}, \quad (5)$$

$$G_{r_{-cp}}(\sigma) = \frac{\sum_{i=0}^m C_i \sigma^{i-1}}{k}, \quad (6)$$

где  $A_i, B_i, C_i$  - значения коэффициентов полиномов, описывающих зависимости границ диапазонов гистограмм компоненты яркости  $Y$ , синей  $C_b$  и красной цветоразностной компонент  $C_r$  от значений  $\sigma$ ;

$m$  - порядок полиномов;

$k$  - количество анализируемых фотоснимков ВО;



**Рис. 13** Результат выделения воздушного объекта

Полученные значения МО нижней и верхней границ изменения диапазонов гистограмм распределений для компоненты яркости, красной и синей цветоразностной компонент для различной степени зашумления фотоснимков позволили определить значения среднеквадратического отклонения (СКО), позволяющие оценить степень отклонения от МО нижней и верхней границ изменения диапазонов гистограмм распределений цветowych компонент, используя следующие выражения:

$$\sigma_n(\sigma) = Y_{cp}(\sigma) - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Y_i(\sigma) - Y_{cp}(\sigma))^2}{k}},$$

$$\sigma_s(\sigma) = Y_{cp}(\sigma) + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Y_i(\sigma) - Y_{cp}(\sigma))^2}{k}}, \quad (7), (8)$$

где  $Y_i(\sigma)$  - значения границ изменения диапазонов гистограмм распределений для компоненты яркости.

Подобным образом возможно и определение СКО для гистограмм распределений синей  $C_b$  и красной цветоразностной компонент  $C_r$ .

Полученные зависимости и результат выделения воздушного объекта представлены на рисунках 10-13. Полученные зависимости позволяют автоматически рассчитывать значения границ изменения диапазонов гистограмм распределения компоненты яркости  $Y$ , синей  $C_b$  и красной цветоразностной компонент  $C_r$  при оценивании зашумленности изображений с траекторной информацией о движении воздушных объектов.

### Заключение

Переход к цветовому пространству  $YCbCr$  позволяет решать задачу выделения воздушных объектов в условиях наложения шумов на графическое изображение. Анализ гистограмм и выбор соответствующих пороговых значений на данных гистограммах цветовых пространств RGB и  $YCbCr$  может быть использован для выделения воздушных объектов, как в отсутствии, так и при наличии шумов на изображениях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов Б.В., Курганов Д.В., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
4. Форсайт, Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.- 1104 с.
6. Cheng, M.-M. SalientShape: Group Saliency in Image Collections [Text] / M.-M. Cheng, N. J. Mitra, X. Huang, S. M. Hu // The Visual Computer. – 2014. – Vol. 30(4). – pp. 488-495.

### REFERENCES

1. Anisimov B.V., Kurganov D.V., Zlobin V.K. Recognition And Digital Processing of Images. –M.: Visshaya Shkola Publishers, 1983. – 295 pages.
2. Vizilter Y.U., Zheltov S.Yu., Bondarenko A.V., Ososkov M.V., Morgin A.V. Processing and Analysis of Images in Tasks of Machine Vision.-M.: Fizmatkniga, 2010. – 672 pages.
3. Gonzalez, R.C. Woods, R.E. Digital Image Processing. – М.: Technosphaera, 2005. - 1104 pages.
4. Forsyth, D.A. Computer Vision. Modern Approach.-M.: Williams, 2004. – 928 pages.
5. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. - M: Williams, 2006. - 1104 pages.
6. Cheng, M.-M. SalientShape: Group Saliency in Image Collections [Text] / M.-M. Cheng, N. J. Mitra, X. Huang, S. M. Hu // The Visual Computer. – 2014. – Vol. 30(4). – pp. 488-495.

### Информация об авторах

*Алексей Алексеевич Васильченко* – к. т. н., преподаватель ФВА РВСН

*Георгий Александрович Коптелов* – младший научный сотрудник ФВА РВСН

**Authors**

*Aleksey Alekseevich Vasilchenko*– Candidate of Technical Science, lecturer of Military Academy, Serpuhov

*Georgiy Aleksandrovich Koptelov*– junior researcher of Military Academy, Serpuhov

**Для цитирования**

Васильченко А.А., Коптелов Г.А. Выделение воздушных объектов по фотоснимкам методом анализа гистограмм // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2019. – №1. – С. 107-114 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/12-2019>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 25.03.2019)

**For citations**

Vasilchenko A.A., Koptelov G.A. Vydelenie vozdushnyh ob'ektov po fotosnimkam metodom analiza gistogramm [Allocation of air objects on pictures a method of the analysis of histograms] // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2019, No. 1, P. 107-114. [Accessed 25/03/19]