

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ

Андрей Андреевич Черников

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры оптических информационных технологий, тел. (913)780-50-96, e-mail: ancher1994@gmail.com

Антон Игоревич Пуртов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (913)469-46-28, e-mail: a.p.93@mail.ru

Иван Валерьевич Прокофьев

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры оптических информационных технологий, тел. (913)908-78-45, e-mail: prokofev.ivan.93@mail.ru

Объектом исследования является оптико-электронная система обнаружения летательных аппаратов. Предметом исследования являются методы выделения движущегося объекта на сложном неоднородном фоне. Цель работы заключается в разработке алгоритма обнаружения беспилотного летательного аппарата оптико-электронной системой на неоднородном фоне в режиме реального времени. Представленные исследования выполнены с использованием методов обработки видеоизображений. Предложен помехоустойчивый метод выделения беспилотного летательного аппарата на сложном динамическом фоне. Алгоритм основан на вычислении координат центра области объекта путем нахождения гауссова адаптивного порога фонового изображения. Предложенный метод может быть использован при разработке оптико-электронной системы обнаружения движущегося беспилотного летательного аппарата на неоднородном фоне в режиме реального времени в инфракрасном диапазоне. В результате работы выявлено, что предложенный алгоритм уверенно справляется с обнаружением контрастного объекта, находящегося на расстоянии до 2 км от системы обнаружения.

Ключевые слова: оптико-электронная система, беспилотный летательный аппарат, обнаружение, алгоритм, адаптация.

ALGORITHM FOR DETECTING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE ON A HETEROGENE BACKGROUND

Andrey A. Chernikov

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. student, Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (913)780-50-96, e-mail: ancher1994@gmail.com

Anton I. Purtov

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. student, Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (913)469-46-28, e-mail: a.p.93@mail.ru

Ivan V. Prokofiev

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. student, Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (913)908-78-45, e-mail: prokofev.ivan.93@mail.ru

The object of research is an optical-electronic system for detecting aircraft. The subject of the research is methods for selecting a moving object on a complex inhomogeneous background. The purpose of this work is to develop an algorithm for detecting an unmanned aerial vehicle by an optoelectronic system on a non-uniform background in real time. The presented studies were performed using video image processing methods. A noise-resistant method for selecting an unmanned aerial vehicle against a complex dynamic background is proposed. The algorithm is based on calculating the coordinates of the center of the object area by finding the Gaussian adaptive threshold of the background image. The proposed method can be used in the development of an optical-electronic system for detecting a moving unmanned aerial vehicle against a non-uniform background in real time in the infrared range. As a result, it was found that the proposed algorithm confidently copes with the detection of a contrasting object located at a distance of up to 2 km from the detection system.

Key words: optical-electronic system, unmanned aerial vehicle, detection, algorithm, adaptation.

Введение

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали играть важную роль в качестве средств поражения и слежения. Поэтому задача быстрого обнаружения и классификации БПЛА является важной задачей. В этой связи возрастает необходимость в разработке эффективных алгоритмов обнаружения воздушных целей в оптическом диапазоне.

Развитие систем технического зрения позволяет в ряде случаев заменить оператора интеллектуальной системой, основанной на обработке видеопотока с бортовой камеры, сделав ее полностью автоматической.

Описанный алгоритм обнаружения объектов работает с полутоновыми изображениями. Полутоновые изображения также называются монохромными или изображениями в оттенках серого, а значение, получаемое после преобразования – интенсивностью или яркостью точки.

Предлагаемый в настоящей статье алгоритм обнаружения беспилотного летательного аппарата на неоднородном фоне основан на методе Gauss Adaptive Threshold [4]. Его преимущества перед существующими методами проявляются в успешности работы в условиях неравномерного освещения и простоте итоговой реализации.

Ключевым элементом алгоритма является использование метода AdaptiveThreshold, математически описанным и рассмотренным в [1-5]. Большое внимание анализу полутоновых изображений уделено в [2, 6-17]. Таким образом, предлагаемый алгоритм имеет практическое значение.

Методы обнаружения малоразмерных объектов оптико-электронной системой

При сегментации изображений могут использоваться так называемые пороговые методы, основанные на разделении изображения на две или более частей, основываясь на некоторых пороговых значениях. Данные методы обладают ин-

туитивно понятными свойствами и просты в реализации, среди них базовыми являются метод с глобальным порогом (GlobalThreshold) и метод с адаптивным порогом (AdaptiveThreshold) [3].

Пороговый метод с глобальным порогом является простейшим. После выбора глобального порога происходит поэлементная проверка всего изображения. Процедура подразумевает разделение изображения на две области: первая относится к объекту, вторая – к фону. В данном случае успешность целиком зависит от того, насколько хорошо изображение поддается разделению. Успешное применение данного метода можно ожидать в условиях контролируемого освещения.

Как только освещение становится неравномерным, хорошо разделяемая гистограмма может превратиться в плохо разделяемую гистограмму, и метод не работает. В этом случае исходное изображение следует разделить на подобласти, в каждой из которых для сегментации ищется и используется свой порог. Основной проблемой здесь является задача разбиения изображения на подобласти и выбор для каждой из них своего порога. Поскольку порог зависит от характеристик подобласти изображения, такой порог называют адаптивным.

Для понимания работы метода следует рассмотреть его математическое описание [4]. Пусть $I(x,y)$ представляет собой исходное изображение, которое будет использоваться для адаптивной пороговой обработки. $G(x,y)$ – это нормализованное значение градиента изображения $I(x,y)$, которое рассчитывается по формуле:

$$G(x,y) = \frac{|\nabla I(x,y)|}{\max_{x,y}(|\nabla I(x,y)|)}. \quad (1)$$

Данный метод использует адаптивный порог $T(x,y)$ для каждого пикселя исходного изображения. Формулу для бинаризации изображения можно описать следующим выражением:

$$K(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{если } f(x,y) > T(x,y) \\ 0, & \text{если } f(x,y) \leq T(x,y) \end{cases} \quad (2)$$

где 1 – значение для пикселя, соответствующего объекту;

0 – значение для пикселя, соответствующего фону.

Если значение T одинаково для всех точек изображения, то такой порог называют глобальным. Если значение T зависит от пространственных координат x и y , то такой порог называют динамическим. Если же T зависит от значения $f(x,y)$, то такой порог называют адаптивным.

Итоговое выражение для расчета порогового значения яркости для бинаризации каждого пикселя выглядит следующим образом:

$$\frac{\delta F}{\delta T} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_x}{I_x - T_x} + \frac{F_y}{I_y - T_y}, \text{ если } (I_x \neq T_x) \wedge (I_y \neq T_y) \\ \frac{F_x}{I_x - T_x}, \text{ если } (I_x \neq T_x) \wedge (I_y = T_y) \\ \frac{F_y}{I_y - T_y}, \text{ если } (I_x = T_x) \wedge (I_y \neq T_y) \\ 0, \text{ если } (I_x = T_x) \wedge (I_y = T_y) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $F(T)$ – первая производная от $T(x,y)$;
 T –функция;
 δT – изменение функции T .

Разработанный алгоритм работает следующим образом:

- на первом этапе кадр видеопотока обрабатывает матрица повышающая контраст изображения [2];
- на втором этапе вычисляется порог фона контрастного изображения и происходит его бинаризация;
- на третьем этапе происходит вычисление координат центра области объекта в бинаризованном изображении.

Результаты

Для определения адекватной работы алгоритма по дальности смоделирована сцена в среде Blender 2.8. Результат обработки видеопотока показан на рис.1, полученном при моделировании сцены с движущимся объектом в инфракрасном спектральном диапазоне с частотой 25 кадр/сек.

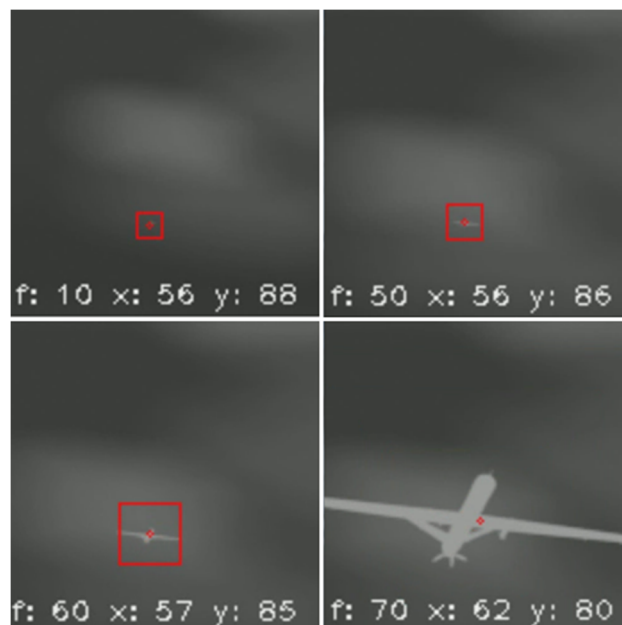


Рис.1. Последовательность кадров инфракрасного видео с выделенным алгоритмом объектом

Заключение

В результате работы выявлено, что предложенный алгоритм уверенно справляется с обнаружением контрастного объекта, находящегося на расстоянии до 2 км от системы обнаружения с разрешением камеры 125x125 пикселей. Наилучший результат, конечно, достигается для тех изображений, на которых объекты расположены на однотонном фоне, что позволяет алгоритму точнее определить пороговое значение для бинаризации. На работу алгоритма практически не влияет затененность, а в некоторых случаях она даже способствует получению лучшего результата. Метод Adaptive Threshold является достаточно гибким инструментом для выделения контуров образов на цифровых изображениях.

Исходные данные по тематике статьи и ее результаты отражены в работах [5-20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пелевин Е.Е., Балясный С.В. Использование метода Adaptive Threshold в системе технического зрения // *Juvenisscientia*. 2017. №1. С. 4-7.
2. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А., Мокшанина М.А. Анализ полутоновых изображений и цветных текстур с позиции стохастической геометрии и функционального анализа / Н.Г.Федотов, Д.А.Голдуева, М.А.Мокшанина // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. – 2017. – № 2 (42). – С. 29–41. DOI 10.21685/2072-3059-2017-2-3
3. Седжвик Р., Уэйн К., Дондеро Р. Программирование на языке Python: учебный курс. : Пер. с англ. - СПб. : ООО "Альфа-книга": 2017. - 736 с. : ил. - Парал. тит. англ.
4. Francis N.Y., Chan F.K., Lam, Hui Zhu Adaptive Thresholding by Variational Method // *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7, No. 3, March 1998. P. 468–473.
5. Lindeberg T. Feature detection with automatic scale selection // *International Journal of Computer Vision*.- 1998.- № 30 (2).- P. 77-116.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005. - 1072с.
7. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход/ пер. с англ. А.В. Назаренко, И.Ю. Дорошенко. М.: Вильямс, 2004. 928 с.
8. Отчет о НИР «Состояние и перспективы развития матричных ФПУ для многоспектральных ГСН», шифр «Нейрон», № гос. рег. У90056, инв. № Е79158. ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт оптических систем», научный рук. Легкий В.Н., Новосибирск, 2007г., - 53с.
9. Борисова И.В., Горенок В.Н., Захарова В.Н. Обнаружение объектов на тепловых изображениях // *Проблемы автоматизации и управления в технических системах: труды Международной научно-технической конференции (г.Пенза, 19-22 апреля 2011г.)*.-Пенза: Изд-во ПГУ.- 2011.-Т.1.-С.186-190.
10. Галянтич А.Н. , Гибин И.С., Ермошин К.М, Золотцев В.В., Малеев Н.М., Шелковой Д.С Модули электронной обработки изображений в тепловизионных системах 2-го и 3-го поколений. *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета* // 2013г. №3 (52). С.32-39.
11. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов// *М. Машиностроение*. 1983. - 696с.
12. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
13. Еремин, Г. В. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО /

Г. В. Еремин, А. Д. Гаврилов, И. И. Назарчук // Армейский вестник. – 2015. – URL: <http://army-news.ru/2015/02/malorazmernye-bespiotniki-novaya-problema-dlya-rvo/> (дата обращения: 10.02.2020).

14. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. М.: Радиотехника, 2008г. 176 с.

15. Лукьяница, А. А. Цифровая обработка видеоизображений / А. А. Лукьяница, А. Г. Шишкин. – М.: Ай-Эс-Эс Пресс, 2009.

16. Муравьев В.С. Пространственный алгоритм обнаружения и измерения координат воздушных объектов на изображении Вестник РГРТУ. Рязань. 2009. 2(28). С. 17-20

17. Борзов С.М., Потатуркин О.И., Резник А.Л., Яковлев А.В.. Принципы построения автоматизированных систем восприятия и анализа последовательности телевизионных изображений// Известия ВУЗов Приборостроение. 2004, № 9. с.46-50.

18. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Обнаружение малоразмерных динамических объектов подвижной системой наблюдения//Автометрия. 2012. 48. №1. С. 23-29

19. Ramya, R. Motion Detection in Moving Background using ORB Feature Matching and Affine Transform / R. Ramya, B. Sudhakara // IJITR. – 2015. – P. 162–164.

20. Yilmaz A., Shafique K., Shah M. Target tracking in airborne forward looking infrared imagery // Image and Vision Computing. 2003. N. 21. P. 623–635.

© А. А. Черников, А. И. Пуртов, И. В. Прокофьев, 2020