

УДК 004.932.2

DOI 10.22213/2410-9304-2018-3-110-114

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МАРШРУТА БПЛА ДЛЯ ЗАДАЧИ ЗРИТЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Д. С. Лихвар, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия*М. А. Мишенков*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия*М. О. Еланцев*, старший преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия*И. О. Архипов*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье рассматривается способ оценки информативности маршрута беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для задач зрительной навигации. Для получения такой оценки необходимо обработать снимок местности со спутника либо фотографический план местности (ортофотоплан). На первом этапе для заданного изображения применяются фильтры, выделяющие сильно выраженные области. В таких областях находятся опорные точки – точки, принимающие экстремальное значение в их окрестностях. На втором этапе составляется карта плотности опорных точек. Для каждой точки исходного изображения определяется количество найденных опорных точек, находящихся в ее окрестности. На третьем этапе по исходному изображению составляется карта дисперсии яркости, на которой отмечается разность между яркостью выбранной точки и ее окрестностью. На четвертом этапе объединяются данные с карт дисперсии и плотности точек, образуя карту информативности местности. Используя полученную карту информативности, можно составить маршрут, на котором беспилотный летательный аппарат сможет использовать системы визуальной навигации. В заключение представлен пример, демонстрирующий разницу между двумя маршрутами с помощью способа, описанного в статье.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, информативность, оценка маршрутов, визуальная навигация.

Введение

Беспилотный летательный аппарат, или БПЛА, – это дистанционно управляемый или заранее запрограммированный летательный аппарат, способный выполнять задания без помощи пилота. Для ориентации в пространстве БПЛА используют спутниковую навигацию GPS, однако сейчас активно разрабатываются системы, благодаря которым БПЛА сможет ориентироваться по снимкам с бортовой камеры, не используя связь со спутником [1–5]. Стоит отметить, что при использовании таких систем выбор маршрута играет очень важную роль, т. к. БПЛА не сможет ориентироваться на участках местности с малым количеством характерных особенностей, таких как пустыня, сплошной лес, поля, поверхность воды и т. д. Поэтому необходимо заранее оценить маршрут, по которому будет следовать БПЛА, чтобы понять, сможет ли он выполнить свою задачу и не потеряться.

Метод оценки информативности маршрута

Для оценки маршрута можно использовать фотографии со спутника либо заранее подготовленные снимки местности [6–7]. Можно вы-

делить два основных параметра: количество опорных точек и дисперсия яркости [8–10].

Опорные точки – это ярко выраженные области на изображении. Найдя опорные точки на соседних снимках и сопоставив их между собой, БПЛА может определить, как именно изменилось его положение в пространстве [11–12]. Пример выделенных опорных точек можно увидеть на рис. 1.

Чем больше опорных точек будет на пути следования БПЛА, тем меньше шанс, что летательный аппарат не сможет корректно сопоставить снимки, и тем точнее будут вычисляться координаты БПЛА. После нахождения опорных точек, составляется карта их плотности по формуле

$$P(x_0, y_0) = \frac{1}{N \cdot N} \sum_{x=x_0-N/2}^{x_0+N/2} \sum_{y=y_0-N/2}^{y_0+N/2} |e(x, y)|, \quad (1)$$

где x_0 и y_0 – координаты точки, для которой вычисляется плотность, N – размер окна, а $e(x, y)$ – степень выраженности опорной точки, измеряемая в пределах от нуля до единицы.

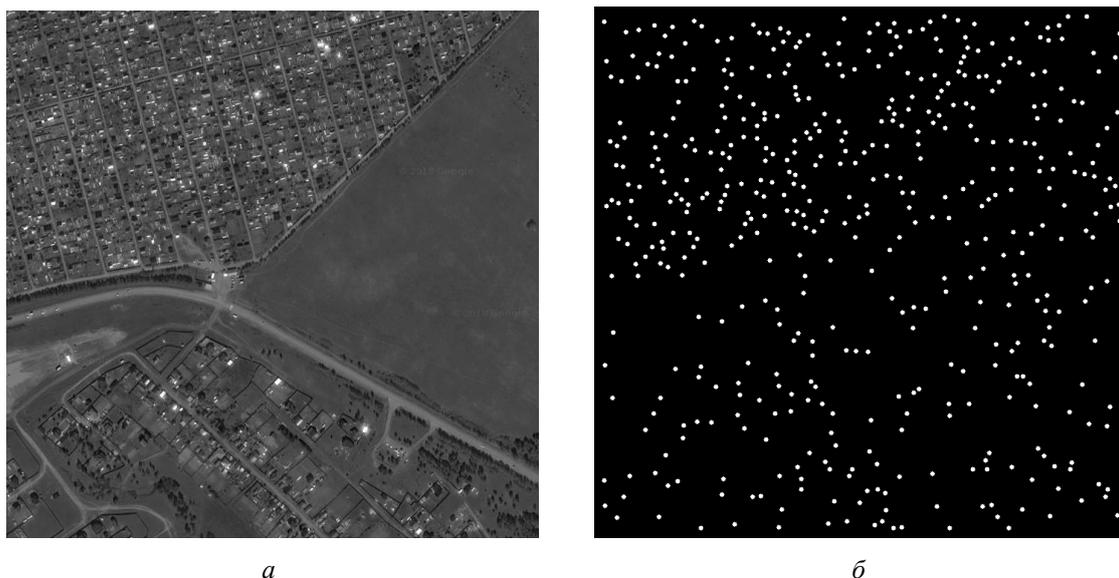


Рис. 1. Выделение опорных точек: *a* – исходное изображение; *б* – опорные точки, найденные на изображении

Другим параметром оценки является дисперсия яркости. Дисперсия – это мера разброса значений. То есть это величина показывает, насколько сильно и часто меняется яркость на снимке. Дисперсию можно вычислить по формуле

$$d(x_0, y_0) = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{x=x_0-N}^{x_0+N} \sum_{y=y_0-N}^{y_0+N} (f(x, y) - f(x_0, y_0))^2}, \quad (2)$$

где x_0 и y_0 – координаты точки, для которой вычисляется дисперсия, N – размер окна, а $f(x, y)$ – значение яркости в точке (x, y) .

На однородной местности, например, в поле или в пустыне, дисперсия будет низкой, а в населенном пункте – высокой. Чем выше будет параметр дисперсии, тем лучше БПЛА сможет сопоставлять снимки.

Объединив эти параметры, согласно формуле

$$F(x, y) = \frac{\sqrt{P(x, y)^2 + 9d(x, y)^2}}{\sqrt{1+9}}, \quad (3)$$

определяются наиболее информативные участки местности, в которых БПЛА сможет ориентироваться, не используя спутниковую связь. Коэффициенты в выражении (3) подобраны экспериментально с учетом информационной важности признаков. Результат объединения

продемонстрирован на рис. 2, *з*. На нем можно увидеть, что точки, находившиеся в правой части изображения, в которой расположено поле, не являются достаточно информативными, и лучше избегать маршрутов через эту область [13].

Для оценки информативности подстилающей поверхности вдоль маршрута предлагается использовать коэффициент информативности маршрута:

$$R = \frac{\sum F(x, y)}{len}, \quad (4)$$

где $\sum F(x, y)$ – сумма информативности точек, расположенных на маршруте, а len – длина маршрута.

Коэффициент информативности маршрута следует вычислять на относительно коротких интервалах. Длина интервала вычисления коэффициента информативности маршрута должна составлять 1,5–2 диагонали кадра бортовой камеры БПЛА, чтобы более эффективно определять наименее информативные участки пути [14–15]. В противном случае, оценки разных типов местности вдоль маршрута будут налагаться друг на друга, влияя на точность результата.

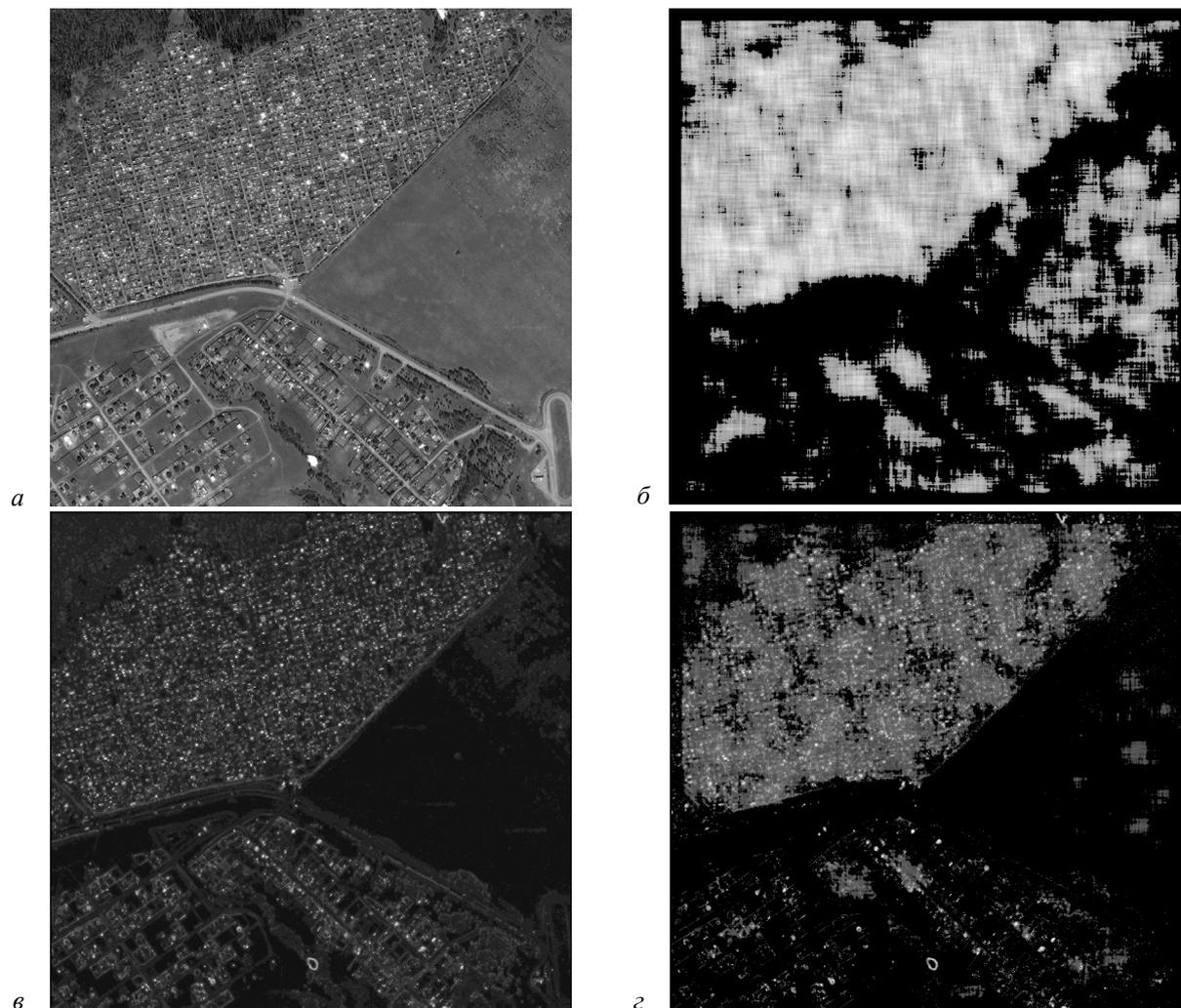


Рис. 2. Оценка информативности местности: *a* – исходное изображение местности; *б* – карта плотности опорных точек; *в* – карта дисперсии яркости; *г* – результат объединения карт дисперсии и плотности опорных точек

Результаты работы

Разработанный метод расчета информативности предлагается использовать следующим образом: оператор получает изображение ортофотоплана с нанесенным на него маршрутом, который раскрашивается разными цветами в зависимости от величины коэффициента информативности. Пользуясь визуальной подсказкой, оператор может скорректировать маршрут, избегая участков с низким коэффициентом информативности, либо построить альтернативный маршрут.

На рис. 3 показан пример двух возможных маршрутов из точки А в точку С. Коэффициент информативности маршрута АС равен 0,01, а более длинного маршрута АВС – 0,53. Таким образом, риск потери БПЛА на маршруте АС значительно выше, и следует использовать второй вариант.

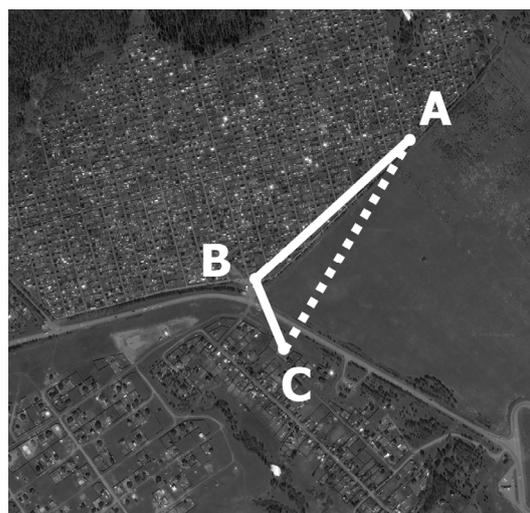


Рис. 3. Варианты маршрута БПЛА

Выводы

Вычисление коэффициента информативности изображения позволяет найти наиболее информативные участки местности, через которые должен пролегать путь БПЛА. А благодаря коэффициенту информативности маршрута можно скорректировать маршрут, по которому будет лететь БПЛА, тем самым уменьшив риск его потери. Программное обеспечение, проводящее данный анализ, может быть установлено на путь оператора беспилотного летательного аппарата, тем самым облегчая процесс составления летного задания.

Библиографические ссылки

1. Архипов И. О., Еланцев М. О. Методика определения координат летательного аппарата по зрительным образам // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 4 (31). С. 4–7.
2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных летательных аппаратов / С. Ю. Желтов и др. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 556 с.
3. Степанов Д. Н. Определение положения и ориентации беспилотного летательного аппарата на основе системы технического зрения // Программные системы. Теория и приложения. 2011. № 4 (8). С. 33–43.
4. Степанов Д. Н. Методы и алгоритмы определения положения и ориентации беспилотного летательного аппарата с применением бортовых видеокамер // Программные продукты и системы (международный журнал) 2014. Т. 1, № 1. С. 150–157.
5. Veth M., Anderson R., Webber F., Nielsen M. Tightly-Coupled INS, GPS, and Imaging Sensors for Precision Geolocation / Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation. San Diego, 2008. Pp. 87-496
6. Применение метода статистической дифференциации для координатной привязки аэрофотоизображения к космическому снимку / Р. М. Гафаров, И. О. Архипов, А. В. Коробейников, М. О. Еланцев // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Т. 15. № 2. С. 109–112.
7. Исследование эффективности применения алгоритмов анализа изображений в задаче навигации беспилотных летательных аппаратов / Б. А. Алпатов, В. С. Муравьев, В. В. Стротов, А. Б. Фельдман // Цифровая обработка сигналов. 2012. № 3. С. 29–34.
8. Гонсалес Р. С., Вудс Р. Е., Эддинс С. Л. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2006. 1070 с.
9. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учеб. пособие / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых, Г. И. Перетягин, А. А. Спектор. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. 168 с.
10. Практическое применение технологий машинного зрения в решении задач распознавания, восстановления 3D, сшивки карт, точного целеуказа-

ния, счисления пути и навигации / А. Е. Семенов, Е. В. Крюков, Д. П. Рыкованов, Д. А. Семенов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 2. С. 92–102.

11. Сопоставление характерных точек на последовательных кадрах в задачах аэронавигации по зрительным образам / А. Н. Максимов, М. О. Еланцев, И. О. Архипов, В. А. Широков // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием / отв. за выпуск: А. П. Тюрин, В. В. Сяктерева. Ижевск, 2016. С. 428–432.

12. Cesetti A., Frontoni E. et al. A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks // Journal of Intelligent Robotic System. 2010. № 57. Pp. 233-257.

13. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М. : Вильямс, 2004. 928 с.

14. Автоматизация разработки и исследования алгоритмов машинного зрения для навигации беспилотных летательных аппаратов на базе специализированного программного комплекса / Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян, Ю. С. Коблов, В. С. Муравьев, В. В. Стротов, А. Б. Фельдман // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 3. С. 85–91.

15. Zhang J., Liu W., Wu. Y. Novel Technique for VisionBased UAV Navigation // Proceedings of IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System. 2011. Vol. 47. № 4. Pp. 2731–2741.

References

1. Arkhipov I. O., Elantsev M. O. [Method for Determining Aerial Vehicle Coordinates by Visual Analysis]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2016, no. 4, pp. 4–7 [in Russ.].
2. Kozorez D., Krasil'shchikov M., Veremeyenko K., Sebyakov G., Sypalo K., Chernomorskiy A., Zheltov S. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v zadachakh navigatsii i navedeniya bespilotnykh manevrennykh letatel'nykh apparatov* [Modern information technologies in navigation and guidance of unmanned aerial vehicles]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2009 (in Russ.).
3. Stepanov D. N. [Determination of the position and orientation of the UAV based on vision systems]. *Program. sist. Teoria i prilozhenia*, 2011, no. 4 (8), pp. 33-43 (in Russ.).
4. Stepanov D. N. [Methods and algorithms for determining the position and orientation UAV using onboard videocameras]. *Programmnye produkty i sistemy (mezhdunarodnyj zhurnal)*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 150-157 (in Russ.).
5. Veth M., Anderson R., Webber F., Nielsen M. *Tightly-Coupled INS, GPS, and Imaging Sensors for Precision Geolocation* Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation. San Diego, 2008. Pp. 87-496.
6. Gafarov R. M., Arkhipov I. O., Korobeynikov A. V., Elantsev M. O. [Application of the method of

statistical differentiation for aerophotosurvey coordinate binding to satellite image]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2017, no. 2, pp. 109-112 (in Russ.).

7. Alpatov B. A., Muraviev V. S., Strotov V. V., Feldman A. B. [Research of effectiveness of image analysis algorithms in the problem of unmanned aerial vehicles navigation]. *Tsifrovaya obrabotka signalov*, 2012, no. 3, pp. 29-34 (in Russ.).

8. Gonsales R., Vudc R., Eddins S. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera, 2016 (in Russ.).

9. Gruzman I. S., Kirichuk V. S., Kosykh V. P., Peretyagin G. I., Spektor A. A. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii v informatsionnykh sistemakh* [Digital processing of images in information systems]. Novosibirsk: NGTU Publ., 2000 (in Russ.).

10. Semenov A. E., Kryukov E. V., Rykovanov D. P., Semenov D. A. [Practical application of computer vision technology in solving problems of recognition, 3D recovery, stitching of maps, precise target designation, calculation of the path and navigation]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2010. № 2. P. 92-102 (in Russ.).

11. Maksimov A. N., Elantsev M. O., Arkhipov I. O., Shirokov V. A. *Sopostavlenie kharakternykh toчек na posledovatel'nykh kadrakh v zadachakh aeronavigatsii po zritel'nykh obrazam* [Characteristic points matching on successive frames in air navigation tasks in visual images]. *Molodye uchenye - uskoreniyu nauchno-*

tehnicheskogo progressa v XXI veke : sbornik materialov IV Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii aspirantov, magistrantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem [Proc. Young scientists - accelerating scientific and technological progress in the XXI century: proceedings of IV All-Russia scientific and engineering conference with international participating]. Izhevsk : Kalashnikov ISTU, 2016, pp. 428-432 (in Russ.).

12. Cesetti A., Frontoni E. et al. (2010) *A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks*. *Journal of Intelligent Robotic System*, 57, 233-257.

13. Forsythe D., Pons G. *Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podkhod*. [Computer vision. Modern approach]. Moscow, Williams, 2004. 928 p. (in Russ.).

14. Alpatov B. A., Babayan P. V., Koblov Yu. S., Muraviev V. S., Strotov V. V., Feldman A. B. [Automation of the development and study of computer vision algorithms for navigating unmanned aerial vehicles on the basis of a specialized software package]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2012, no. 3. Pp. 85-91 (in Russ.).

15. Zhang J., Liu W., Wu. Y. Novel Technique for VisionBased UAV Navigation. *Proceedings of IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System*. 2011. Vol.47. № 4. Pp. 2731-2741.

Estimation of the UAV Route Information for the Visual Navigation Task

D. S. Likhvar, Student, Kalashnikov ISTU

M. A. Mishenkov, student, Kalashnikov ISTU

M.O. Elantsev, senior lecturer, ISTU

I. O. Arkhipov, PhD in Engineering, ISTU

In the paper the method of estimation of informative route of unmanned aerial vehicles (UAVs) for tasks of visual navigation is considered. To obtain such an assessment, it is necessary to process a satellite image of the terrain, or a photographic plan of the terrain (orthophotoplan). The first step is to apply filters to a given image that highlight strongly expressed areas. In such areas there are reference points – points that take extreme values in the area. At the second step, we define a map of the density of the control points. For each point of the source image, the number of reference points found in its neighborhood is determined. In the third step, a dispersion map is generated from the original image, which indicates the difference between the brightness of the selected point and its surroundings. At the fourth step, the data from the maps of dispersion and density of points are combined, forming a map of informative terrain. Using the obtained information map, you can make a route on which the unmanned aerial vehicle will be able to use visual navigation systems. In conclusion, we present an example showing the difference between the two routes using the method described in the paper.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, informational value, route estimation, visual navigation.

Получено: 18.06.18