

Разработка метода навигации беспилотных летательных аппаратов по данным аэрофотосъемки в условиях отсутствия сигналов внешних навигационных систем

Литвиненко А.И. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Будько М. Ю. (ИТМО)

Введение. Современные БПЛА для определения точных геокоординат и ориентации в пространстве оснащаются системами навигации, принцип которых основан на комплексировании сигналов спутниковой навигации (ГЛОНАСС, GPS и подобные) и данных с инерциального устройства (IMU), включающего в себя акселерометры для определения линейных ускорений и гироскопов для определения угловых скоростей. В условиях устойчивой работы систем спутниковой навигации такие системы могут выдавать высокоточные решения с погрешностью в единицы сантиметров в дифференциальном режиме (при наличии устойчивой связи с наземной базовой станцией), либо менее точные решения с погрешностью в метровом диапазоне в автономном режиме. В условиях конфликтов доступность спутникового сигнала и его надежность может снижаться вплоть до полного отсутствия, что делает стандартные навигационные системы ненадежными. Для решения этой проблемы возможна разработка системы навигации, основанной на системе машинного зрения и заранее построенной визуальной карты области полета. Цель работы заключается в определении местоположения беспилотного летательного аппарата с использованием видеокамеры в условиях отсутствия сигналов внешних навигационных систем. Разработанный аппаратно-программный комплекс может быть применен для определения местоположения беспилотного летательного аппарата с использованием видеокамеры в условиях отсутствия сигналов внешних навигационных систем.

Для обеспечения точного определения местоположения БПЛА важен не только выбранный подход сопоставления изображений, но и комбинация алгоритмов, параметров их работы, корректирующих методов и исходных данных.

В работе [1] предлагается классифицировать алгоритмы, используемые для сопоставления изображений: корреляционно-экстремальный, с использованием ключевых точек и с использованием нейронных сетей.

Погрешность при корреляционно-экстремальном подходе может в среднем достигать несколько десятков метров. В исследовании [2] используется нейронная сеть cGAN [3] и погрешность разработанного метода составляет 22,7 м. В работе [4] также применяется корреляционно-экстремальный подход, но с алгоритмом AKAZE [5], вследствие чего погрешность составляет от 15,24 м до 21,57 м, в зависимости от исходных данных.

Следующая группа алгоритмов основывается на сравнении ключевых точек на изображениях. Точность таких алгоритмов может достигать от дециметров до десятков метров. В работе [6] используется алгоритм SURF [7], метод RANSAC [8]. Полёт был смоделирован с применением карты Google Earth. Погрешность в данном эксперименте составляет 1,6 м. В исследовании [9] предложен метод навигации с использованием алгоритма ORB [10], погрешность составила 9,5 м.

Последняя группа алгоритмов предполагает применение глубокой нейронной сети, которая при получении изображения, формирует на выходе координаты и параметры ориентации БПЛА. В исследовании [11] применяется нейронная сеть Xception [12], погрешность составляет 166,5 м. В работе [13] производится обучение нейронной сети PoseNet, погрешность составляет 2 м.

Наиболее эффективной является группа алгоритмов навигации на основе сопоставления изображений с использованием ключевых точек. Они могут быть использованы, как для решения глобальных задач позиционирования, так и локальных, а также имеют самую маленькую погрешность определения координат, которая колеблется от

десятков метров до дециметров, тогда как алгоритмы других групп имеют результаты хуже. Алгоритмы с использованием ключевых точек широко распространены и обеспечивают высокую надежность.

В качестве классических подходов используются алгоритмы выделения ключевых точек, такие как: SURF (Speeded Up Robust Features, ускоренный поиск надежных признаков), ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF, ориентированный алгоритм FAST и алгоритм поворота BRIEF) и SIFT (Scale-Invariant Feature Transform, масштабно-инвариантное преобразование признаков). Из-за патентных ограничений алгоритмы SIFT и SURF недоступны для бесплатного использования. В статье [14] приводится сравнение бинарных дескрипторов особых точек изображений, где, кроме SURF, SIFT и ORB, также сравниваются такие дескрипторы, как: BRIEF, BRISK, FREAK, AKAZE, LATCH. Алгоритм ORB незначительно уступает алгоритму AKAZE в ряде экспериментов на точность вычисления, однако лидирует в скорости, что немаловажно при навигации в режиме реального времени

Основная часть.

В настоящей работе предлагается метод навигации БПЛА с использованием алгоритма поиска ключевых точек ORB, ортофотоплана, преобразованного в картографический вид, в качестве эталонного изображения, а также с применением сортировки результатов сравнения ключевых точек по расстоянию Хэмминга.

Для построения ортофотоплана необходимо иметь снимки местности, полученные с БПЛА на определенной высоте с определенным интервалом. Для решения этой задачи использовано бесплатное приложение «riх4DCapture» для планирования полетов БПЛА, 3D картографирования и моделирования и дрон «DJI Phantom 4 Pro». Полёт проводился на высоте 50 метров, площадь съемки составила 94 на 87 метров. По результатам сбора данных был получен набор снимков с вшитыми в изображения значениями широты, долготы и высоты. Снимки обработаны в приложении «Agisoft PhotoScan».

Программа написана на языке программирования Python 3.6. В результате работы программы на экран выводится сопоставленный снимок с БПЛА с ортофотопланом, а в консоль выводятся десятичные градусы полученной широты и долготы.

В ходе исследования построен график траектории движения БПЛА. Если исключить выбросы, то остальные значения широты и долготы находятся в пределах нормы. После исключения выбросов значение погрешности для широты и долготы в среднем не превышает 2 м. Для тестирования программы использованы платформы NVIDIA JETSON. Значение частоты кадров на JETSON Xavier и JETSON Nano при работе программы составило 0.822 кадров/секунду и 1.28 кадров/секунду соответственно.

Всвязи с изменением времени года и времени суток эффективность алгоритма может снижаться, из-за чего ухудшается точность получаемых координат. Для решения данной проблемы используется подход преобразования изображения riх2riх, идея которого заключается в сегментировании картинки с БПЛА и эталонного изображения с использованием нейронной сети и приведении в картографический вид. В процессе выделяются классы объектов, например дороги, здания, реки, улицы и т. д.

Выводы. В ходе исследования разработана программа на языке программирования Python 3.6, которая по сопоставленному снимку с ортофотопланом выводит значение широты и долготы с погрешностью от 0,03 до 2 метров, что обеспечивает определение местоположения с БПЛА в условиях отсутствия сигналов внешних навигационных систем.

Список использованных источников:

1. Али Б., Садеков Р. Н., Цодокова В. В. Алгоритмы навигации беспилотных летательных аппаратов с использованием систем технического зрения // Гироскоп и навигация. Том 30. 2022. № 4. С. 87.

2. Schleiss M. Translating aerial images into street-map representations for visual self-localization of UAVs, *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019. V. 42, P. 575–580.
3. Isola P., Zhu J.-Y., Zhou T., Efros A.A. Image-To-Image translation with conditional adversarial networks, *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017. P. 1125–1134.
4. Silva Filho P., Shiguemori E.H., Saotome O. UAV visual autolocalization based on automatic landmark recognition, *International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics*, 2017. P. 89–94.
5. Alcantarilla, P.F., Nuevo, J., Bartoli, A. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces, *British Machine Vision Conference (BMVC)*, 2013. P. 10.
6. Wang X., Kealy A., Li W., Jelfs B., Gilliam C., May S.L., Moran B. Toward Autonomous UAV Localization via Aerial Image Registration, *Electronics*, 2021. V. 10. N. 4. P. 15.
7. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision ECCV 2006 // Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin Heidelberg. 2006. P. 404–417.
8. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communications of the ACM*, 1981. V. 24. N. 6. P. 381–395.
9. Masselli A., Hanten R., Zell A. Localization of Unmanned Aerial Vehicles Using Terrain Classification from Aerial Images, *Intelligent Autonomous Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer International Publishing. 2016. V. 13. P. 831–842.
10. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF, *International Conference on Computer Vision*. 2011. P. 2564–2571.
11. Harvey W., Rainwater C., Cothren J. Direct Aerial Visual Geolocalization Using Deep Neural Networks, *Remote Sensing*. 2021. V. 13. P. 43.
12. Chollet F. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. 2017. P. 47.
13. Kendall A., Grimes M., Cipolla R. PoseNet: A convolutional network for real-time 6-dof camera relocalization, *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*. Santiago, Chile, 2015. P. 2938–2946.
14. Краснобаев Е.А., Краснобаев Е.А., Чистобаев Д.В., Малышев А. Л. Сравнение бинарных дескрипторов особых точек изображений в условиях искажений. *Компьютерная оптика*. 2019. Т. 43. № 3. С. 434–445.
15. Степанов Д. Н., Тищенко И. П., Поляков А. В., Вату-тин В.М., Соболев Д.Б. Подсистема определения положения и ориентации беспилотного летательного аппарата // Сборник докладов 10-й Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий» М. 2019. С. 21–22.