

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БВС ПО АНАЛИЗУ 2D-ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕСТНОСТИ

Каштанов С.А., Кулько Д.Д.

*Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского,
Владивосток*

Ключевые слова: геолокация, компьютерное зрение, сопоставление изображений, SIFT, спутниковые снимки, ESRI World Imagery, RANSAC, гомография, геопривязка координат, OpenCV, автономная навигация, мониторинг территорий, cross-view matching, точность позиционирования.

Аннотация. Рассматривается применение методов компьютерного зрения для геолокации беспилотных воздушных судов по спутниковым снимкам в условиях отсутствия GPS-сигнала. Предлагаемый подход основан на сопоставлении кадров из видеопотока с камеры дрона со спутниковыми изображениями с использованием алгоритмов SIFT и RANSAC. Определяются географические координаты места съёмки путём преобразования пиксельных координат в географические. Анализируются проблемы съёмки на разной высоте и искажений в перспективе. Делается вывод о перспективности интеграции разработанного алгоритма в навигационные системы беспилотников для повышения надёжности позиционирования.

DEVELOPMENT OF A UAV NAVIGATION SYSTEM BASED ON 2D TERRAIN IMAGE ANALYSIS

Kashtanov S.A., Kulko D.D.

Admiral Nevelskoy Maritime State University, Vladivostok

Keywords: geolocation, computer vision, image matching, SIFT, satellite imagery, ESRI World Imagery, RANSAC, homography, coordinate georeferencing, OpenCV, autonomous navigation, territory monitoring, cross-view matching, positioning accuracy.

Abstract. The paper considers the application of computer vision methods for geolocation of unmanned aerial vehicles using satellite imagery in the absence of GPS signal. The proposed approach is based on matching frames from the drone camera video stream with satellite images using SIFT and RANSAC algorithms. The geographical coordinates of the shooting location are determined by converting pixel coordinates to geographic coordinates. The problems of shooting at different altitudes and perspective distortions are analyzed. The conclusion is made about the prospects of integrating the developed algorithm into drone navigation systems to improve positioning reliability.

Современные беспилотные воздушные суда (БВС) все чаще используются для решения широкого круга задач: от мониторинга территорий до поисково-спасательных операций. Ключевым элементом автономного полёта является точное определение местоположения дрона в пространстве. Традиционно эта задача решается с помощью GPS, однако в условиях городской застройки, плотной растительности, при наличии радиопомех или преднамеренного подавления сигнала средствами РЭБ сигнал может быть нестабильным или полностью отсутствовать [1, 2]. В рамках данной работы рассматривается разработка системы навигации БВС по анализу 2D-изображений местности, которая позволит сохранять пространственную ориентацию и успешно выполнять миссию, полагаясь только на свое «зрение».

Актуальность создания такой системы навигации продиктована уязвимостью традиционных GPS-сигналов. Они могут быть подвержены преднамеренным помехам или просто отсутствовать в труднодоступных районах (глубокие ущелья, пещеры, плотная городская застройка). Разработка навигации по 2D-изображениям местности (технология машинного зрения) критически важна для выполнения специальных задач, мониторинга в условиях радиоэлектронного противодействия, а также для повышения автономности дронов при потере связи со спутниками [3]. Это позволяет БВС сохранять пространственную ориентацию и успешно выполнять миссию, полагаясь только на свое «зрение».

Процесс решения поставленной задачи базируется на современных методах компьютерного зрения и может быть разделен на несколько этапов. На первом этапе перед вылетом загружаются карты нужной территории при помощи указания примерных координат местности, в которой будет производиться полет. В полете алгоритм через определенные интервалы времени берет из видеопотока с камеры БВС наилучшие кадры и работает с ними. Также на борту БВС имеется инерциальный блок, данные с которого (крен, тангаж, рыскание) помогают работе алгоритма и позволяют более точно рассчитать проекцию дрона на фотографии, что особенно актуально на большой высоте [4].

На этапе загрузки спутниковой карты координаты пересчитываются в номера фрагментов карты (тайлов) по алгоритму Web Mercator. Фрагменты размером 256×256 пикселей загружаются с сервера ESRI World Imagery [5], после чего сшиваются в единое изображение и вычисляются точные границы загруженной области.

Основной этап – извлечение и сопоставление признаков с использованием алгоритма SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) [3]. На фотографии дрона и спутниковой карте находятся ключевые точки, для каждой из которых вычисляется 128-мерный дескриптор – уникальный «отпечаток». Дескрипторы фотографии сравниваются с дескрипторами карты с применением ratio-теста Лоу для отсева ложных совпадений [3]. Реализация алгоритмов выполнена с использованием библиотеки OpenCV [6].

Далее выполняется геометрическая верификация методом RANSAC (Random Sample Consensus) [7]. Из найденных совпадений случайно выбираются четыре пары точек, вычисляется матрица гомографии для осуществления поворота, масштабирования, сдвига и корректировки перспективы для совмещения изображения с дрона и спутникового снимка. Процесс повторяется многократно для поиска наилучшего решения, отбираются точки, подтверждающие преобразование (*inliers*). В результате этих преобразований каждый пиксель картинки с дрона получает соответствующее место на карте.

После нахождения гомографии определяется центр фотографии на карте, и пиксельные координаты переводятся в географические (широта/долгота). Вычисляется метрика уверенности на основе количества *inliers*. Значения от 0.35 и выше считаются достаточными для практического использования, так как при более высоком пороге алгоритм в плотной городской застройке будет теряться.

На итоговом этапе на карте отображается найденная область и её центр, выводятся координаты и показатели уверенности. Результат передается на полетный контроллер для корректировки траектории полета, а также может быть

сохранен. На бортовом компьютере Raspberry Pi 5 полный круг цикла этого алгоритма завершается примерно за 300-500 миллисекунд, чего достаточно при обработке кадров с интервалом в 1-2 секунды.

В ходе разработки и тестирования системы были получены следующие результаты. На рисунке 1 представлен пример кадра из видеопотока с камеры БВС (тестовое изображение – скриншот со спутниковых снимков). На рисунке 2 показан результат обработки скриптом: зеленая рамка обозначает примерный обзор БВС, красный крест – примерное расположение дрона на карте.

На рисунке 3 приведён другой тестовый пример, демонстрирующий работу алгоритма на ином типе местности, а на рисунке 4 – полученный результат.

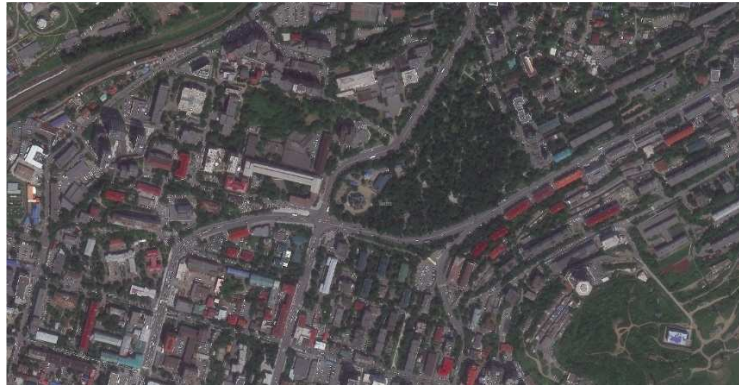


Рис. 1. Исходное изображение с камеры БВС

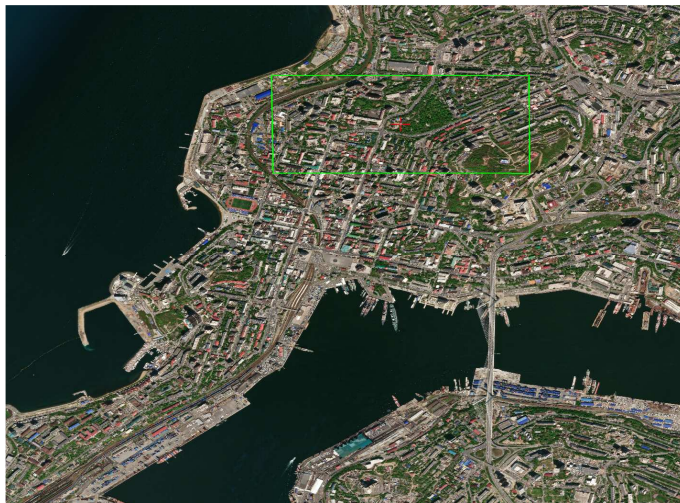


Рис. 2. Результат сопоставления изображения со спутниковой картой

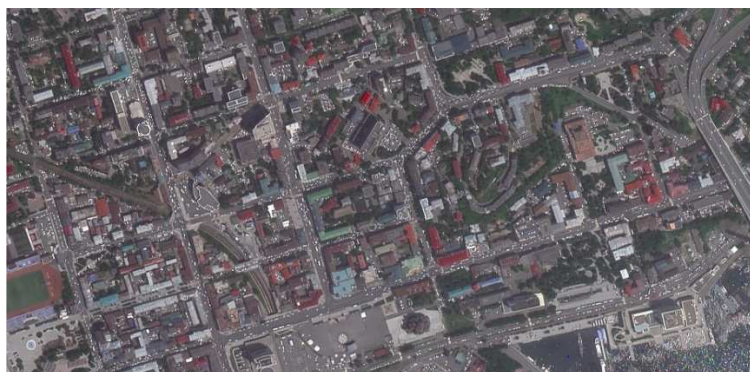


Рис. 3. Второй тестовый кадр с камеры БВС

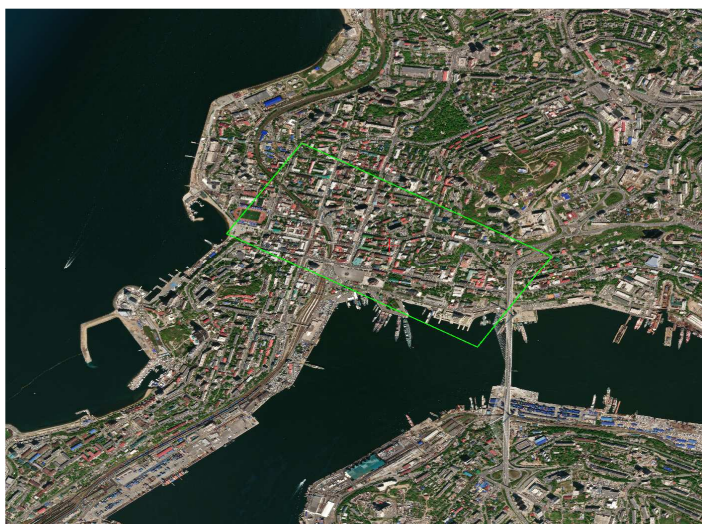


Рис. 4. Результат обработки второго тестового изображения

Разработанная система навигации по 2D-изображениям является эффективным инструментом для обеспечения автономности БВС в условиях отсутствия GPS-сигнала. Применение методов компьютерного зрения, в частности алгоритмов SIFT и RANSAC, позволяет с высокой точностью определять географические координаты места съёмки путём сопоставления видеокadres со спутниковыми снимками. Для дальнейшего развития таких систем необходимо повышение производительности алгоритмов для работы на маловысотных скоростных аппаратах, а также интеграция нейросетевых методов для улучшения сопоставления изображений в условиях сезонных изменений ландшафта и изменений ракурса съёмки.

Список литературы

1. Прощенко Д.Ю., Коровецкий, Чехленок А.А., Бобылев Д.С., Букин О.А. Адаптация инструментов искусственного интеллекта в программные оболочки морской робототехники в задачах обеспечения экологической безопасности морских акваторий при разливах нефтепродуктов // Морские интеллектуальные технологии/Marine intellectual technologies/. – 2026. – №1. – Часть 1. – С. 166-176. – doi.org/10.37220/MIT.2026.71.1.017.
2. Прощенко Д.Ю., Коровецкий Д.А., Букин И.О., Чехленок А.А., Бобылев Д.С., Юрчик В.Ф., Букин О.А. Мультиагентный роботизированный комплекс экологического мониторинга морских акваторий // Морские интеллектуальные технологии. – 2024. – № 3-1(65). – С. 189-199.
3. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints // International Journal of Computer Vision. 2004, 60(2), pp. 91-110.
4. Букин О.А. Метод и аппаратные комплексы учёных Морского университета сократили время осмотра подводных частей судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bit.ly/4rvFLu0>.
5. ESRI. (2025). World Imagery Basemap [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08feb2a9>.
6. OpenCV Team. (2024). OpenCV: Feature Detection and Description [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/4.x/d7/d66/tutorial_feature_detection.html.
7. 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, vol. 24(6), pp. 381-395.

Сведение об авторах:

Каиштанов Сергей Александрович – студент;

Кулько Дмитрий Денисович – студент.