

УДК 004.932.2

Сравнительный анализ методов визуальной навигации беспилотного воздушного судна

Иванников Александр Геннадьевич

a.ivannkov@mail.ru

Бобков Александр Валентинович^(*)

alexander.bobkov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача повышения точности и надежности автономной навигации в условиях отказа или недостаточной точности спутниковых систем. Представлены и проанализированы классические и современные методы корреляционно-экстремальной навигации: фазовая корреляция, градиентная корреляция, контурная корреляция, метод ключевых точек SURF и метод Хафа. Сделаны выводы, что представленные методы могут применяться для создания отказоустойчивых навигационных систем нового поколения.

Ключевые слова: визуальная навигация, фазовая корреляция, метод SURF, метод Хафа, корреляционно-экстремальные методы

Введение. Актуальность разработки автономных систем навигации беспилотного объекта обусловлена возрастающими требованиями к их применению в условиях, где использование ГЛОНАСС/GPS ограничено или невозможно. Целью работы является сравнительный анализ точности, быстродействия и устойчивости к изменяющимся условиям съемки для методов визуальной навигации: фазовой корреляции [1], градиентной корреляции [2], контурной корреляции [2], метода ключевых точек SURF [3], метода Хафа [4, 5] и предлагаемого модифицированного метода фазовой корреляции, устойчивого к масштабированию и повороту кадра. Проведена комплексная оценка гибридного алгоритма, комбинирующего преимущества различных подходов для повышения надежности навигационного определения.

Материалы и методы; результаты. В качестве материалов использовалась серия аэрофотоснимков, полученных с борта аппарата в городской местности. Съемка проводилась с варьированием высоты, угла обзора. Для оценки методов применялся специализированный программный комплекс, реализованный на языке Matlab. В качестве метрики точности использовалось среднеквадратичное отклонение (СКО), вычисленное между смещением эталонного кадра и смещением искаженного кадра относительно карты. Показано, что метод фазовой корреляции демонстрирует высокую точность при шуме, но не справляется с масштабированием и вращением. Градиентная корреляция менее устойчива к шуму, чем фазовая корреляция, но более устойчива к повороту. Контурная корреляция крайне чувствительна к шуму. Алгоритм SURF показал наилучшую устойчивость к масштабированию и повороту кадра, однако он не работает при отсутствии ключевых точек и соответственно неэффективен при шуме. Метод Хафа неустойчив к шуму, но хо-

рошо справляется с поворотом и масштабированием. Модифицированная фазовая корреляция, которая проходит по сетке масштабов и углов, хорошо справляется с шумом, масштабированием и поворотом, но крайне вычислительно затратна.

Заключение. Цель исследования достигнута: проведен сравнительный анализ методов визуальной навигации. Полученные результаты подтвердили, что ни один из классических методов не является универсальным, однако их синергетическое использование в гибридных схемах позволяет преодолеть индивидуальные недостатки. Наиболее перспективный подход — комбинация метода ключевых точек SURF и фазовой корреляции. Результаты исследования могут быть применены в реальной практике для разработки алгоритмического обеспечения автономных объектов, используемых в картографии, мониторинге объектов инфраструктуры и в поисково-спасательных операциях.

Список источников

- [1] Kuglin C.D., Hines D.C. The phase correlation image alignment method. *Proceedings of the IEEE 1975 International Conference on Cybernetics and Society*. San Francisco, 1975, pp. 163–165.
- [2] Pratt W.K. Correlation techniques of image registration. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1974, vol. AES-10, no. 3, pp. 353–358.
<https://doi.org/10.1109/TAES.1974.307837>
- [3] Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, vol. 110, no. 3, pp. 346–359.
<https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>
- [4] Ballard D.H. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern Recognition*, 1981, vol. 13, no. 2, pp. 111–122.
[https://doi.org/10.1016/0031-3203\(81\)90009-1](https://doi.org/10.1016/0031-3203(81)90009-1)
- [5] Duda R.O., Hart P.E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 1972, vol. 15, no. 1, pp. 11–15.
<https://doi.org/10.1145/361237.361242>