

УДК 528.721.122

Оптическая навигация: классические подходы, новые возможности, серьезные проблемы и способы их решения

Баклановский Максим Викторович¹

baklanovsky@mail.ru

Казначеев Сергей Александрович²

vpk@vpk.npomash.ru

Крохалев Евгений Михайлович¹

heniusu@yandex.ru

Нестеренко Андрей Николаевич²

vpk@vpk.npomash.ru

Ханов Артур Рафаэлевич^{1(*)}

awengar@gmail.com

¹ООО «Софтком», Санкт-Петербург, Россия²АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, Россия

Аннотация. Задача в общей постановке не имеет однозначного решения без использования дополнительной информации: снимки земли, горизонта, данные об ориентации камеры, карты из открытых источников и сделанные под заказ, рельеф.

Ключевые слова: оптическая навигация, датчик КомпаНав, алгоритм Савельева — Козко, углы Эйлера — Крылова, позиционирование, WGS84

Введение. Оптическая навигация — это обнаружение местоположения наблюдателя на основе информации со снимков окружающей местности. При решении этой задачи исследовались возможности использования дополнительной информации.

Методы и материалы; результаты. Абсолютное позиционирование. Дана карта местности со спутника (либо карта, полученная восстановлением ортофотоплана). Дан набор видеозаписей пролетов над участком земли. Каждый кадр полета имеет указанную широту, долготу, крен, тангаж, курс, высоту, скорость полета. Для датчика имеется частота данных. Для камеры указан угол зрения, разрешение, частота кадров. Имеется схема геометрии крепления камер. Полет может проходить в разное время суток, различаются погодные условия и сезон.

Получение данных. Для записи навигационной информации используется датчик КомпаНав. Он посылает данные об углах ориентации камер с частотой 50 Гц, координаты со спутника приходят раз в секунду. Данные с камер пере-сылаются на компьютер по ethernet-кабелю, датчик связан с компьютером по СОМ-порту. Было экспериментально выяснено, что датчик выдает углы Эйлера — Крылова [1].

Преобразование данных. Датчик КомпаНав выдает текущую высоту над эллипсоидом WGS84.

Поиск положения на карте. Для нахождения местоположения кадра на карте используется алгоритм Савельева — Козко. Была проверена оценка устойчивости алгоритма к поворотам и масштабированию. При повороте

до 4° и масштабированию до 9 % алгоритм продолжает работать и находить местоположение образца на карте.

Восстановление положения аппарата. Согласно тестам при малых изменениях координат точек оценка положения камеры в трехмерном пространстве может меняться очень сильно [2].

Влияние рельефа. Некоторые участки на Земле вовсе пропадают, так как заслоняются формой рельефа. В этом случае корреляционный алгоритм резко снижает свою точность. На данный момент мы только можем в нашей утилите `surf` учитывать искажения рельефа.

Относительная навигация. Поиск своего положения может осуществляться не только на заранее снятой карте, но и относительно последнего известного местоположения. В таком случае важно то, на сколько метров алгоритм накапливает ошибку со временем. Мы протестировали множество алгоритмов, и лучшим по точности оказался SURF [3].

Заключение. При решении задачи оптической навигации следует рассматривать всю имеющуюся информацию, которая уточняет местоположение:

- поиск положения на заранее снятых и сохраненных картах или моделях;
- относительная навигация от последнего известного положения;
- современные алгоритмы поиска объектов на основе нейронных сетей (например, `yolo`) позволяют находить известные ориентиры, и на их основе оценивать положение аппарата;
- возможными также являются навигация по линии горизонта, по звездам;
- для задач навигации можно использовать инфракрасные, тепловые, мультиспектральные камеры и даже магнитометрические датчики и радары.

Список источников

- [1] Баклановский М.В., Крохалев Е.М., Ханов А.Р., Нестеренко А.Н., Сгонников А.С. Алгоритм подтверждения соответствия между показаниями датчика ориентации и углами Эйлера-Крылова. *XLVIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тр.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 414–418.
- [2] Баклановский М.В., Крохалев Е.М., Нестеренко А.Н., Сгонников А.С., Казначеев С.А. Методология восстановления навигационных данных с использованием сопоставления аэроснимка и карты. *XLVIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тр.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 402–413.
- [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>