

УДК 621.396.96

Алгоритмы определения координат камеры, установленной на подвижное основание, по визуальным маркерам

Летка Дария Александровна

letka@bmstu.ru

Чулин Николай Александрович

nchulin@bmstu.ru

SPIN-код: 2844-0223

Масленников Андрей Леонидович^(*)

amas@bmstu.ru

SPIN-код: 7087-6303

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрен алгоритм определения положения оптической системы позиционирования — камеры, установленной на подвижное основание, например на беспилотное воздушное судно. Использован методологический подход в области компьютерного зрения Perspective-n-Point и соответствующие методы вычисления положения камеры в пространстве. Решение задачи многократного отслеживания объектов интегрировано с помощью алгоритма Simple Online and Realtime Tracking (SORT), в рамках которого реализованы фильтр Калмана для предсказания положения оптических маяков и алгоритм Венгера для оптимального сопоставления треков. Проведенный вычислительный эксперимент показал работоспособность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: оптическая система захода на посадку, беспилотное воздушное судно, алгоритм Simple Online and Realtime Tracking, моделирование

Algorithms for determining the coordinates of a camera mounted on a moving object using visual markers

Lyotka Dariya Aleksandrovna

letka@bmstu.ru

Chulin Nikolay Aleksandrovich

nchulin@bmstu.ru

SPIN-code: 2844-0223

Maslennikov Andrey Leonidovich^(*)

amas@bmstu.ru

SPIN-code: 7087-6303

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The paper discusses an algorithm for determining the position of an optical positioning system — a camera mounted on a moving object, such as an unmanned aerial vehicle. A methodological approach from the field of computer vision, Perspective-n-Point, and corresponding methods for calculating the camera's position in space were used. The solution for multiple object tracking is integrated using the Simple Online and Realtime Tracking (SORT) algorithm, within which a Kalman filter is implemented to predict the positions of optical beacons and the Hungarian algorithm for optimal track assignment. The computational experiment conducted demonstrated the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: optical landing assistance system, UAV, SORT algorithm, simulation

Введение. Обеспечение захода на посадку беспилотных воздушных судов (БВС) может осуществляться с использованием радиомаяков ближнего действия, установленных на мобильной посадочной платформе, а также установленного на БВС приемника, который использует измерения мощностей радиосигналов для определения расстояния между БВС и центром посадочной платформы [1–3]. В данной работе рассматриваются алгоритмы системы технического зрения, с помощью которых происходит обнаружение оптических ориентиров — визуальных маркеров, которые устанавливаются на земле. Камера осуществляет съемку подстилающей поверхности и обнаружение визуальных маркеров. Полученные данные передаются в блок обработки информации, где по взаимному расположению визуальных маркеров на изображении друг относительно друга на получаемых кадрах система определяет координаты камеры в пространстве. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

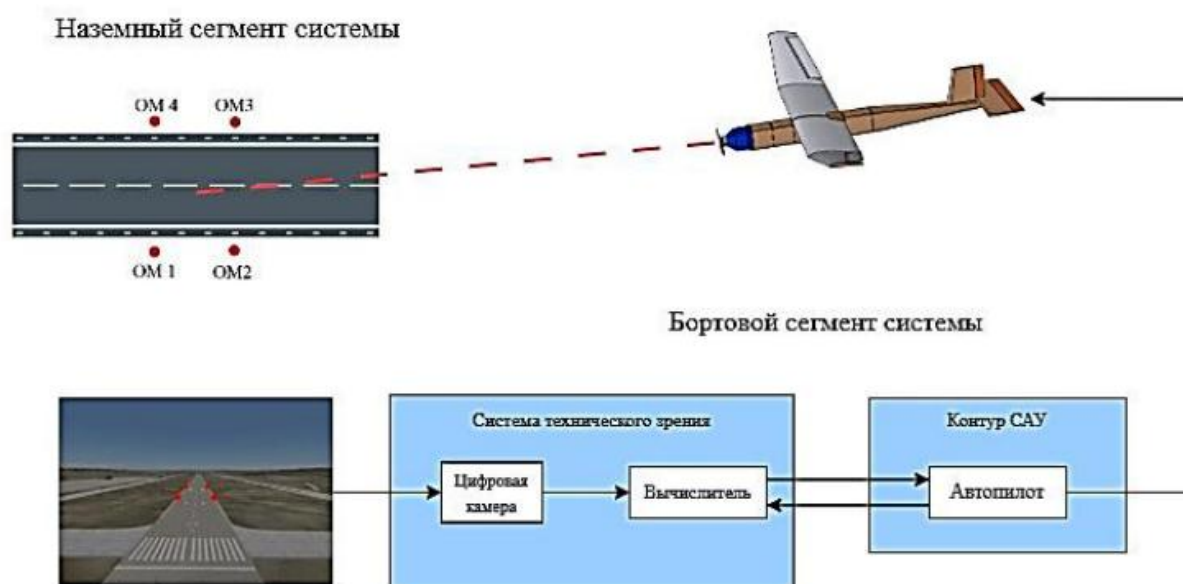


Рис. 1. Структурная схема системы захода на посадку

Материалы и методы. В качестве входных данных для трекинга в виде визуальных маркером использовались черные окружности фиксированного диаметра, нанесенные на ровную плоскость. Такая замена обусловлена более простой и надежной процедурой подготовки и съемки экспериментальных кадров, а также ускоренным сбором статистики по локализации визуальных маркеров. Схема эксперимента представлена на рис. 2.

Алгоритм обработки информации осуществляет поиск, захват, распознавание и сопровождение визуальных маркеров, вычисление угловых и линейных координат положения камеры относительно места посадки.

Первым шагом обработки служит обнаружение на каждом кадре оптических ориентиров. Полученные прямоугольные рамки каждого ориентира пе-

редаются в алгоритм SORT. SORT обеспечивает высокопроизводительный онлайн-трекинг, сочетая алгоритм фильтра Калмана для предсказания положения рамок и алгоритм Венгера для оптимального соответствия детекций и существующих треков. За счет этого удается сохранять стабильный идентификатор каждой метки между кадрами, даже в условиях кратковременных частичных затенений или шумовых помех.

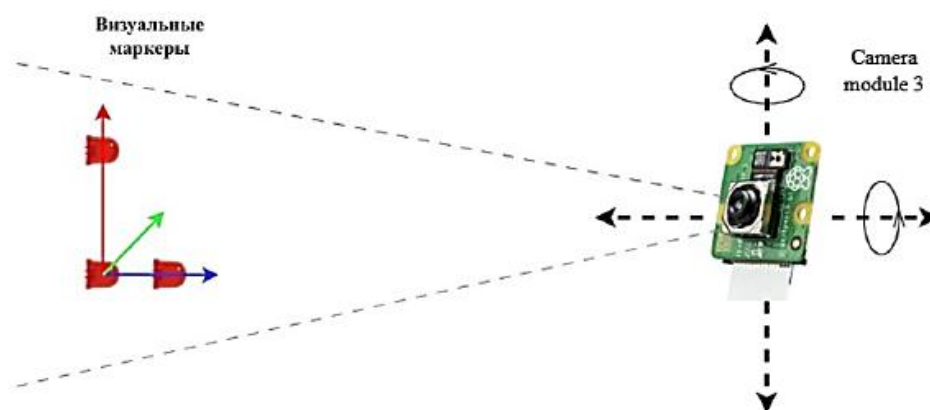


Рис. 2. Схема эксперимента

После того как двумерные координаты ориентиров в изображении установлены, применяется алгоритм Perspective-n-Point (PnP), который решает задачу восстановления положения камеры по n парам «3D-точка $\leftrightarrow$ 2D-проекция» [4]. Данный алгоритм способен выдавать точное и вычислительно эффективное решение при наличии небольшого набора маркеров. Используя решение PnP, система получает оценку вектора положения и матрицы поворота БВС относительно ВПП в реальном масштабе.

Для повышения устойчивости оценки к шуму измерений и динамическим возмущениям используется сигма-точечный фильтр Калмана (СТФК или UKF) [5]. Это метод оценивания для нелинейных моделей вида:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_k = \mathbf{f}(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{t}_{k-1}) + \omega_{k-1} \\ \mathbf{z}_k = \mathbf{h}(\mathbf{x}_k) + v_k \end{cases} \quad (1)$$

Сигма-векторы определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \chi_0 &= \hat{\mathbf{x}}_{k|k}; \\ \chi_i &= \hat{\mathbf{x}}_{k|k} + \left(\sqrt{(L + \lambda) \mathbf{P}_{k|k}} \right), \quad i = 1, \dots, L; \\ \chi_i &= \hat{\mathbf{x}}_{k|k} - \left(\sqrt{(L + \lambda) \mathbf{P}_{k|k}} \right), \quad i = L + 1, \dots, 2L. \end{aligned} \quad (2)$$

Каждая сигма-точка проходит через нелинейную модель процесса $\chi_k^x = \mathbf{f}(\chi_{k-1}^x)$. Преобразованные точки используются для вычисления среднего значения и ковариации прогнозируемого значения $\mathbf{x}_k$:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \sum_{i=0}^{2L} W_i^x (\chi_k^x);$$

$$\mathbf{P}_k = \sum_{i=0}^{2L} W_i^C [(\chi_k^x - \hat{\mathbf{x}}_k)(\chi_k^x - \hat{\mathbf{x}}_k)^T] + \mathbf{Q}_k. \quad (3)$$

Затем сигма-точки проходят через нелинейную модель наблюдения: $\gamma_k = \mathbf{h}(\chi_{k-1}^x)$. На основе полученных преобразованных наблюдений вычисляется ковариация:

$$\hat{\mathbf{z}}_k = \sum_{i=0}^{2L} W_i^x (\gamma_{k-1}^x);$$

$$\mathbf{P}_{\gamma} = \sum_{i=0}^{2L} W_i^C [(\gamma_k^x - \hat{\mathbf{z}}_k)(\gamma_k^x - \hat{\mathbf{z}}_k)^T] + \mathbf{R}_k. \quad (4)$$

Взаимная ковариация между $\hat{\mathbf{x}}_k$ и $\hat{\mathbf{z}}_{k-1}$:

$$\mathbf{P}_{\chi,\gamma} = \sum_{i=0}^{2L} W_i^C [(\chi_k^x - \mathbf{x}_k)(\gamma_k^x - \mathbf{z}_k)^T]. \quad (5)$$

Апостериорные оценки:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \mathbf{K}_k (\hat{\mathbf{z}}_k - \gamma_k^x);$$

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k (\mathbf{P}_{\chi,\gamma})^{-1};$$

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{P}_{k-1} - \mathbf{K}_k \mathbf{P}_{\chi,\gamma} \mathbf{K}_k^T. \quad (6)$$

На каждом временном шаге поступившие из РnР координаты БВС передаются в СТФК — в результате формируется вектор оценок траектории посадки.

Результаты. Для оценки работоспособности предложенных алгоритмов проведено практическое определение параметров камеры, трекинг оптических маяков и определение координат положения камеры. На рис. 3 показан результат работы алгоритма.

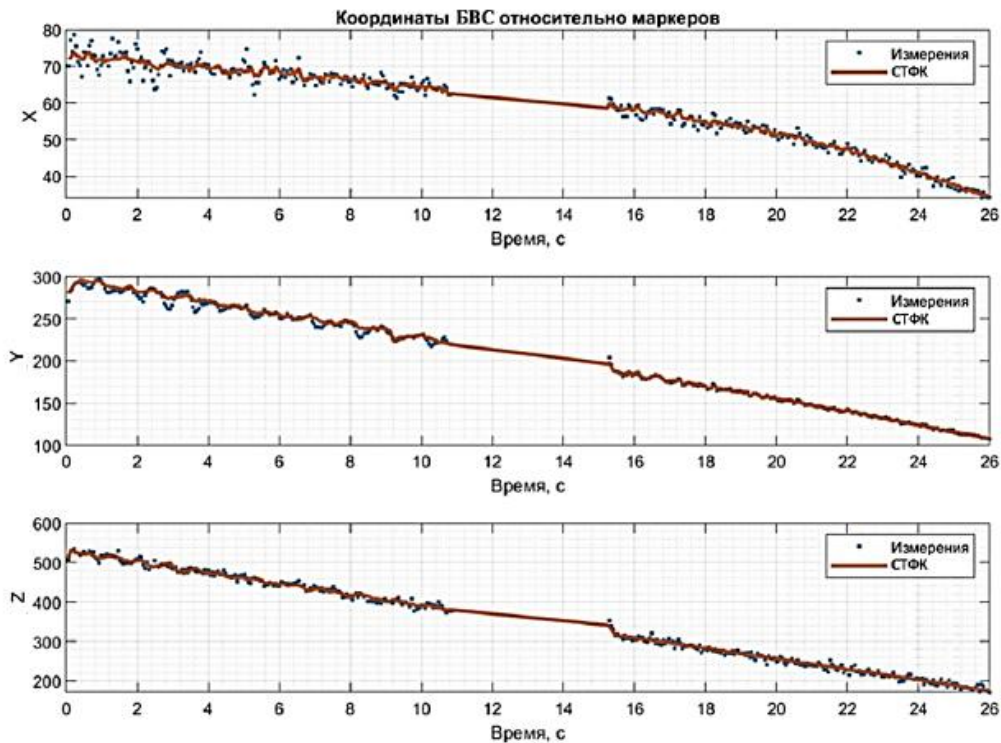


Рис. 3. Результаты полунатурного моделирования

По графикам видно, что положение камеры не определено, когда из ее вида пропадают ориентиры. Также в начале измерения присутствует довольно большой разброс данных, возникающий из-за отдаленности камеры от маркеров. Траектория движения объекта при использовании фильтра достаточно точно описывает положение камеры относительно ориентиров в видимой области и когда они не обнаруживаются детектором.

Заключение. В работе рассмотрена задача алгоритмического определения координат камеры, являющейся элементом системы технического зрения, по информации от детектируемых на изображениях положений оптических маркером. Рассмотренные алгоритмы показали свою принципиальную применимость.

Список источников

- [1] Масленников А.Л., Чжан С., Неусыпин К.А., Селезнева М.С. Система посадки МБПЛА на подвижное основание на базе радиомаяков ближнего действия. *Автоматизация. Современные технологии*, 2023, т. 77, № 5, с. 224–228.
<https://doi.org/10.36652/0869-4931-2023-77-5-224-228>
- [2] Суркова А.Д., Масленников А.Л., Чжан С. Система посадки беспилотного аппарата на подвижную платформу с использованием радиомаяков. *XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, т. 3, с. 232–236.
- [3] Чжан С., Масленников А.Л., Селезнева М.С., Неусыпин К.А. Адаптивный навигационный комплекс БПЛА с коррекцией от радиомаяков ближнего действия. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 2022, № 9, с. 30–35.
<https://doi.org/10.25791/pribor.9.2022.1362>
- [4] Haralick B.M., Lee C., Ottenberg K., Nölle M. Review and analysis of solutions of the three-point perspective pose estimation problem. *Int. J. Comput. Vision*, 1994, vol. 13, no. 3, pp. 331–356. <https://doi.org/10.1007/BF02028352>
- [5] Агафонов В.Ю., Розалиев В.Л., Заболеева-Зотова А.В. Использование фильтра Калмана в задачах трекинга объектов. *Интеллектуальные системы. Теория и приложения*, 2016, т. 20, № 4, с. 13–17.