

известным является Cardinal), которое использует собранные телеметрические данные для создания интерактивных карт. Напомним, что зависание в воздухе, полезное, в частности, для топографической съемки, возможно только для БПЛА с вращающимся крылом, многороторных БПЛА или БПЛА типа VTOL.

Профессиональные БПЛА все чаще используются и в других сферах деятельности. Например, специалисты по недвижимости и профессионалы в области кино все чаще используют этот тип технологий для ведения фото- (иногда под углом 360°) или видеосъемки. Эти БПЛА также используются в области безопасности (например, для быстрого обнаружения людей, оказавшихся в чрезвычайной ситуации).

УДК 629.7.05:623.746.-519

КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ ДАТЧИКА АВИАГОРИЗОНТА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

А.А. ШЕЙНИКОВ, Л.А. ИВАНИЦКИЙ

Военная академия Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Для малых тактических (МТ) беспилотных летательных аппаратов (БЛА), целесообразным является максимальное использование потенциала штатной системы технического зрения (СТЗ) для решения сразу нескольких задач на борту. Очевидно, что основной задачей СТЗ, является ведение оптико-электронной воздушной разведки. Однако, СТЗ может выступать также в роли дополнительного датчика авиагоризонта (ДАГ) [1, 2], работающего, в отличие от базовой бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), на других физических принципах. Такое комплексное использование СТЗ может положительно сказаться на точности оценки углов крена и тангажа (за счет комплексирования информации от БИНС и СТЗ, с учетом нечувствительности СТЗ к кажущемуся уходу вертикали при ускорениях БЛА), на весе и сложности оборудования МТ БЛА (за счет отказа от применения на борту дополнительных ДАГ, например, пирометрических), а также на качестве получаемых разведывательных данных (за счет увеличения точности фотограмметрических измерений параметров объектов воздушной разведки и за счет повышения точности совмещения реальных и синтезированных перспективных изображений).

Реализация ДАГ на основе бортовой СТЗ сопряжена с рядом трудностей, в основном связанных с необходимостью устойчивого распознавания

линии горизонта (ЛГ) в кадре. Так ЛГ недоступна в облаках (нижний край облачности на территории Республики Беларусь редко бывает выше 500 м), в ночное время и днем в условиях плохой видимости (например, в тумане). Также измерения невозможны при выходе ЛГ из поля зрения при больших углах наклона оптической оси курсовой камеры (строительной оси БЛА) относительно горизонтальной плоскости [2]. Перечисленные особенности, в свою очередь, приводят к соответствующим ограничениям применения БЛА.

Для расширения возможностей известного ДАГ на основе СТЗ предложен алгоритм счисления углов крена и тангажа в условиях временного отсутствия ЛГ в кадре.

Алгоритм разработан на основе методов анализа видеопотока [3]. Динамика оптического поля в кадре характеризуется сдвигами и поворотами. Суть алгоритма заключается в оценке значений сдвигов и углов поворота по координатам выделенных пар особых точек (ОТ). Для этого ЦИ разбивается на четыре четверти. Из каждой четверти выбирается по одной паре ОТ (ОТ на предыдущем ЦИ и, соответствующая ей, ОТ на текущем ЦИ) (рис. 1).

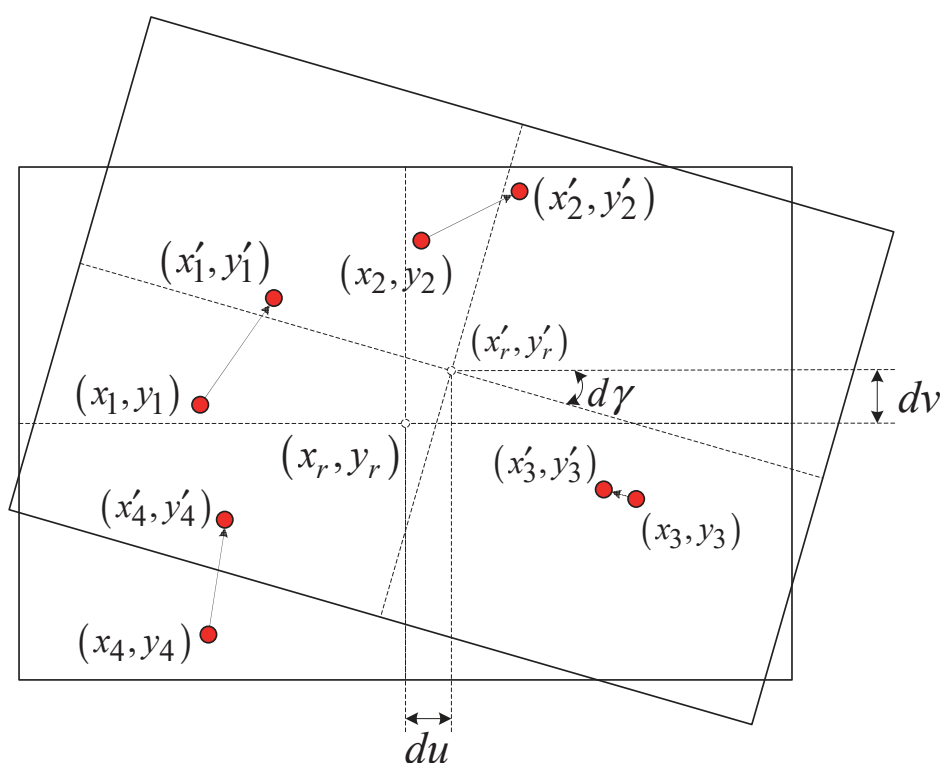


Рис. 1. Выделенные пары ОТ из каждой четверти ЦИ

На рисунке 1 $(x_1, y_1), (x'_1, y'_1), (x_2, y_2), (x'_2, y'_2), (x_3, y_3), (x'_3, y'_3), (x_4, y_4), (x'_4, y'_4)$ - координаты выделенных пар ОТ; $(x_r, y_r), (x'_r, y'_r)$ -

координаты центра отслеживаемого оптического поля на предыдущем и текущем кадре; $d\gamma$ - изменение угла крена; du, dv - изменения координат центра оптического поля по соответствующим осям, причем dv соответствует изменению угла тангажа $d\vartheta$ (рисунок 2), а его значение (в радианах) можно найти по формуле:

$$d\vartheta = \arctg\left(\frac{dv}{f}\right)$$

где f - фокусное расстояние объектива камеры.

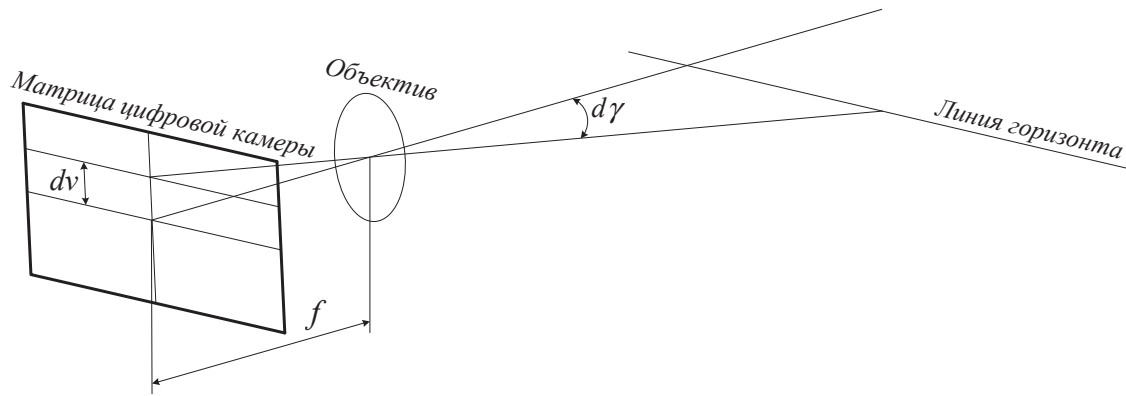


Рис. 2. Смещение ЛГ в кадре при изменении угла тангажа

С учетом известных координат выделенных пар ОТ составляется система уравнений:

$$\begin{cases} x'_1 = x_1 \cos(\gamma) - y_1 \sin(\gamma) + du \\ y'_1 = x_1 \sin(\gamma) + y_1 \cos(\gamma) + dv \\ x'_2 = x_2 \cos(\gamma) - y_2 \sin(\gamma) + du \\ y'_2 = x_2 \sin(\gamma) + y_2 \cos(\gamma) + dv \\ x'_3 = x_3 \cos(\gamma) - y_3 \sin(\gamma) + du \\ y'_3 = x_3 \sin(\gamma) + y_3 \cos(\gamma) + dv \\ x'_4 = x_4 \cos(\gamma) - y_4 \sin(\gamma) + du \\ y'_4 = x_4 \sin(\gamma) + y_4 \cos(\gamma) + dv \end{cases} \quad (1)$$

В результате решения системы уравнений (1) находятся значения $d\gamma$ и dv :

$$d\gamma = \arccos\left(\frac{(y'_1 - y'_2)(x_3 - x_4) - (y'_3 - y'_4)(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)(x_3 - x_4) - (y_3 - y_4)(x_1 - x_2)}\right)$$

$$dv = y' + \frac{(y'_1 - y'_2)(y_3 x_1 - y_4 x_1 - x_3 y_1 + x_4 y_1) - (y'_3 - y'_4)(2y_1 x_1 - y_2 x_1 - x_2 y_1)}{(y_1 - y_2)(x_3 - x_4) - (y_3 - y_4)(x_1 - x_2)}$$

Текущие значения углов крена и тангажа (значения рассматриваемых параметров на k -м шаге) рассчитываются в соответствии с выражениями:

$$\gamma_k = \gamma_{k-1} + d\gamma$$

$$\vartheta_k = \vartheta_{k-1} + d\vartheta$$

Очевидно, что с течением времени будут накапливаться ошибки, списание которых возможно по данным от более стабильной системы, работающей на другом принципе. Для решения этой задачи в рамках одной СТЗ, предлагается использовать разработанный алгоритм в комплексе с алгоритмом оценки параметров ориентации БЛА по информации о положении ЛГ в кадре [1, 2], обладающим достаточной для пилотирования БЛА точностью [4] (рис. 3).

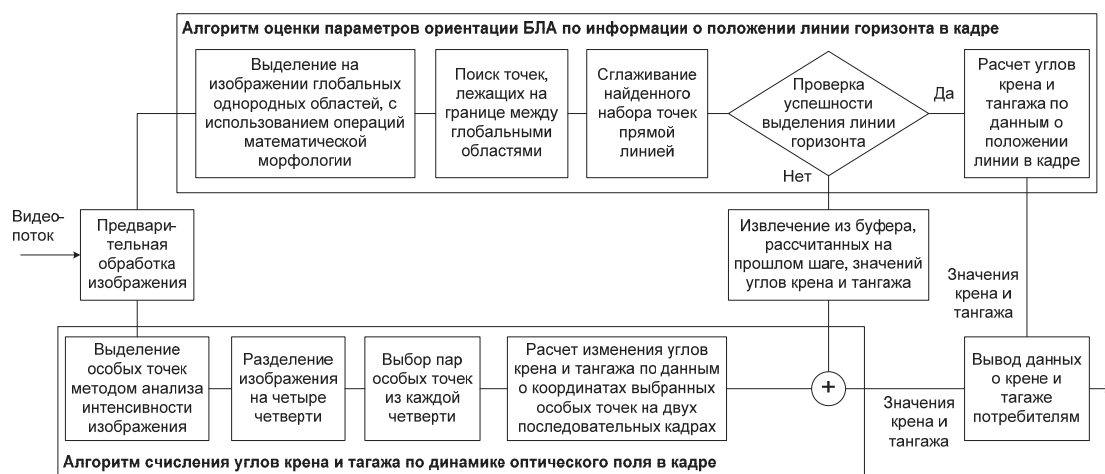


Рис. 3. Комплексный алгоритм ДАГ на основе СТЗ

Предложенный комплексный алгоритм отличается повышенной устойчивостью к изменениям внешних условий съемки, отсутствием ограничений по ориентации носителя в пространстве и не требует модификации аппаратной части пилотажно-навигационного комплекса МТ БЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cornall T.D., Egan G.K. Measuring horizon angle from video on a small unmanned air vehicle // 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents: proceedings of the conf. / edited by S.C. Mukhopadhyay and G. Sen Gupta; Institute of information sciences and technology of Massey University. – Palmerston North, New Zealand, 2004. – P. 339–344.
2. Распопов, В.Я. Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов / В.Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2011. – 184 с.

3. Клетте, Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы / Р. Клетте. пер. с англ. А.А. Слинкин. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 506 с.

4. Шейников, А.А. Анализ погрешностей датчика авиагоризонта на базе системы технического зрения / А.А. Шейников, Л.А. Иваницкий, В.А. Малкин // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1. – С. 16-23.

УДК 629.73

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ ПОДСИСТЕМ БПЛА

И.П. ШИПИЦКИЙ, Ю.Ф. ЯЦЫНА, М.В. МАКСИМОВА

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный
центр многофункциональных беспилотных комплексов»

Национальной академии наук Беларуси

Минск, Беларусь

Идея разведки и наблюдения с воздуха не нова, в связи с чем в мире получили активное распространение беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с комплексами оптико-электронной разведки. Но с появлением и активным применением средств радиоэлектронного подавления (РЭП) каналов радиосвязи и систем навигации БЛА значительно усложнилось или даже стало практически невозможным, применение БПЛА с целью ведения разведки и оптического контроля ответственных участков и территорий, особенно в приграничных зонах наблюдения. Поэтому в Министерстве внутренних дел Республики Беларусь, Министерстве обороны Республики Беларусь, а также в силовых ведомствах зарубежных стран (США, КНР, РФ, ФРГ, Япония, Республика Польша и др.) проявляется устойчивый интерес и потребность в комплексах воздушного наблюдения на основе привязного аэростата, позволяющего парировать влияние РЭП на каналы связи и системы навигации и обеспечивать продолжительную оптико-электронную разведку. Такой аэростатный комплекс безопасен, экологичен, имеет минимальный уровень шума, способен находиться в воздухе «стоять» при наименьших затратах значительно дольше, чем БПЛА тяжелее воздуха, нести достаточно тяжелую полезную нагрузку, а его привязная система позволяет практически без временных ограничений непрерывно обеспечивать электроэнергией радиоэлектронную аппаратуру