

УДК 004.932

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Алпатов Б.А., д.т.н., проф. заведующий кафедрой Автоматики и информационных технологий в управлении (АИТУ) Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ)

Муравьев В.С., к.т.н., старший научный сотрудник кафедры АИТУ РГРТУ, e-mail: aitu@rsreu.ru

Стротов В.В., к.т.н., доцент кафедры АИТУ РГРТУ, e-mail: aitu@rsreu.ru

Фельдман А.Б., младший научный сотрудник, аспирант кафедры АИТУ РГРТУ, e-mail: aitu@rsreu.ru

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, навигация, анализ изображений, опорные участки, алгоритмы SIFT и ORB.

Введение

Аппаратура навигации играет ключевую роль в реализации автоматических и автоматизированных режимов полета беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В современном поколении навигационного оборудования, как правило, используют схему комплексов измерения спутниковой и инерциальной навигационных систем. Это позволяет достичь высокой точности позиционирования при хороших массогабаритных показателях. Между тем, широко применяемые на практике спутниковые системы навигации не лишены недостатков, главным из которых является существенное ухудшение точности позиционирования в условиях плохого приема навигационных сигналов. Инерциальные системы, в свою очередь, быстро накапливают ошибки без введения спутниковой коррекции.

Альтернативным источником навигационных данных может служить видеосъемка, выполняемая с борта БПЛА. Вопросы, связанные с теоретическими и практическими аспектами использования видеоданных для навигации БПЛА, достаточно широко отражены в современной научной печати [1–11]. Применяемые методы можно условно разделить на две группы. Методы первой группы предполагают сопоставление данных текущей съемки с эталонными спутниковыми снимками или аэрофотоснимками. Методы второй группы основываются на принципах счисления пути, для чего выполняется сопоставление следующих подряд кадров текущей видеосъемки. Таким образом, в обоих случаях для определения навигационных параметров необходимо решать задачу сопоставления изображений. При этом важно учитывать возможные изменения ракурса съемки и наличие мешающих факторов.

Высокой точности и надежности сопоставления можно добиться, если вместо исходных изображений рассматривать совокупность выделенных на них особых точек, каждой из которых по определенному правилу ставится в соответствие дескриптор – описатель, мало зависящий от воздействия искажений. Подобный описатель вычисляется на основе распределения яркости

Рассмотрены результаты исследований, посвященных изучению возможностей применения алгоритмов анализа изображений SIFT и ORB в задаче навигации беспилотных летательных аппаратов. Исследования выполнены с помощью специализированного программного обеспечения, осуществляющего моделирование условий бортовой видеосъемки, оценку навигационных параметров, расчет критериев эффективности алгоритмов анализа изображений.

изображения в окрестности рассматриваемой точки. Сопоставив особые точки текущего изображения с точками эталонного изображения, можно определить параметры, необходимые для их геометрического совмещения.

Для выделения и описания особых точек изображений на данный момент предложено немало алгоритмов. Они различаются как по показателям эффективности, так и по быстродействию. Надо заметить, что эти качества вступают в противоречие, поэтому выбор подходящего алгоритма для реализации в аппаратуре реального времени является актуальным предметом для исследования. В связи с этим в данной работе выполнена оценка эффективности применения алгоритмов SIFT [12] и ORB [13] в задаче навигации БПЛА.

Краткое описание метода определения географических координат и курса БПЛА

Для определения навигационных параметров БПЛА в данной работе использовался подход, согласно которому на предварительно сформированных эталонных изображениях (ЭИ) местности размечаются опорные участки (ОУ) – характерные объекты и регионы наблюдаемой местности, которые впоследствии отыскиваются на текущем изображении (ТИ). Каждый ОУ задается в виде ориентированного прямоугольника на эталонном снимке местности с известными географическими координатами точек и характеристиками пространственного разрешения. Таким образом, после разметки ОУ заданы географические координаты его центра, размеры и ориентация.

Пусть в процессе определения координат БПЛА не совершает резких маневров, оптическая ось видеодатчика отклоняется от надира незначительно (на величину не более 5°), а перепад высот рельефа в поле зрения пренебрежимо мал в сравнении с высотой полета. Исходя из этого, без существенной потери точности можно

считать, что геометрические преобразования изображений ОУ ограничиваются сдвигом, поворотом относительно центра и изменением масштаба. Задача распознавания и локализации ОУ на ТИ является наиболее трудной в реализации описываемого подхода. Именно для ее решения применяются алгоритмы SIFT и ORB, являющиеся предметом исследования. При этом сохраняется общая для данного подхода логика обработки текущих и эталонных данных.

Перед началом полета на всех изображениях ОУ производится выделение особых точек с последующим расчетом дескрипторов. Это позволяет сформировать эталонную базу особых точек (БОТ), связанных с опорными участками. В ходе полета аналогичные операции выполняются с ТИ. Следующим шагом является сопоставление особых точек ТИ и точек из БОТ.

Для каждого ОУ число сопоставленных пар точек сравнивается с пороговым значением. Это позволяет принять решение о присутствии рассматриваемого ОУ на ТИ. Кроме того, соответствие между точками позволяет оценить положение, размеры и ориентацию изображения ОУ в текущем кадре. Для снижения влияния ошибочных сопоставлений особых точек используется метод робастного оценивания RANSAC [14]. С целью исключения аномальных ошибок локализации и для уточнения положения опорных участков используются методы калмановской фильтрации.

Последним шагом является расчет координат и курса БПЛА, для чего данные о положении опорных участков на ТИ соотносятся с их фактическим местоположением в системе географических координат.

Алгоритмы анализа изображений

Дадим краткую характеристику алгоритмов SIFT и ORB, исследованию эффективности которых посвящена настоящая работа.

Алгоритм SIFT. Для детектирования особых точек в алгоритме SIFT [12] строится масштабная гауссова пирамида [15] и вычисляется разность между изображениями смежных уровней. Особые точки выбираются среди экстремумов разностных изображений. Положение экстремума по пространственным координатам и масштабу определяется с субдискретной точностью посредством квадратичной интерполяции.

Каждый экстремум подвергается ряду проверок. Во-первых, выполняется сравнение величины отклика в рассматриваемой точке с порогом, что позволяет снизить чувствительность детектора к яркостным искажениям и действию шумов. Во-вторых, отбрасываются экстремумы, лежащие на границах объектов. Такие экстремумы могут смещаться вдоль границы, следовательно, также являются нестабильными. Алгоритм демонстрирует высокую стабильность результатов детектирования при наличии аффинных геометрических преобразований и яркостных искажений.

Для вычисления дескриптора особой точки с ней связывают определенное направление. Для этого в окрестности рассматриваемой точки на соответствующем масштабе пирамиды строится специальная гистограмма. Каждый её отсчет является суммой модулей градиентов, направление которых попадает в заданный ин-

тервал. Отыскивается направление, соответствующее максимуму гистограммы. Точное положение максимума определяется при помощи квадратичной интерполяции по ближайшим столбцам. Эту величину принимают за направление, связанное с данной особой точкой.

Далее формируется квадратное окно, центр которого располагается в рассматриваемой особой точке, а ориентация совпадает с сопоставленным ей направлением. Окно равномерно разбивается на регионы, в каждом из которых вычисляется гистограмма, аналогичная той, что использовалась для определения направления в особой точке, но с меньшей разрядностью. Для формирования дескриптора задаются правилом обхода регионов и последовательно выписывают отсчеты соответствующих гистограмм. Таким образом, привязка дескриптора к определенному уровню гауссовой пирамиды обеспечивает инвариантность к изменению масштаба, а использование направления, связанного с особой точкой, – к повороту изображения. Использование информации о градиенте для кодирования дескриптора обеспечивает низкую чувствительность к изменению уровня яркости. В последующем для сопоставления особых точек, вычисляется Евклидова норма расстояния между их дескрипторами.

Алгоритм ORB. Алгоритм SIFT демонстрирует отличные результаты в задачах обнаружения, распознавания и локализации объектов на изображении, но как видно из представленного описания требует значительных по объемам вычислений. В связи с этим, продолжают попытки создания более простых алгоритмов детектирования точек и вычисления дескрипторов, обеспечивающих при этом достаточную инвариантность к искажениям. Одним из них является рассматриваемый в данной работе алгоритм ORB [13].

На первом этапе для детектирования особых точек строится масштабная гауссова пирамида изображений. Затем на каждом масштабном уровне определяются экстремумы функции яркости. Для решения этой задачи применяется алгоритм FAST [16], согласно которому для каждой точки изображения формируется окружность некоторого радиуса и подсчитывается число точек, лежащих на этой окружности и имеющих значения яркости меньше или больше яркости ее центра. Если таких точек найдется больше $3/4$ от их возможного количества, то центр окружности считается кандидатом на роль особой точки. Найденные кандидаты отбраковываются, если они лежат на границах объектов.

Для расчета дескриптора в окрестности особой точки на текущем масштабе выделяется область, для которой находится центр масс. Вектор, направленный из особой точки в сторону центра масс, будет задавать ориентацию особой точки. Для составления дескриптора необходимо сформировать квадратное окно, центрированное относительно ключевой точки и согласованное с ее ориентацией. В этом окне по заданному правилу выбирается набор пар точек, значения яркости в которых сравниваются между собой. Если яркость первой точки оказывается выше, в соответствующий элемент дескриптора записывается 1, в противном случае записывается значение 0. Составленные таким образом дескрипторы можно сопоставлять друг с другом по норме Хемминга.

Структура алгоритма ORB показывает, что он менее требователен к вычислительным ресурсам в сравнении с описанным ранее алгоритмом SIFT. Выигрыш в скорости вычислений определяется, прежде всего, более простой процедурой построения дескрипторов и механизмом вычисления нормы.

Программный комплекс для автоматизации экспериментальных исследований

Для автоматизации проведения исследований алгоритмов навигации БПЛА по данным видеонаблюдения авторами статьи был разработан программный комплекс (ПК) «Навигация» [17]. ПК «Навигация» обеспечивает подготовку исходных данных, имитацию бортовой видеосъемки, реализует алгоритмы определения навигационных параметров и позволяет оценивать их эффективность. Для имитации видеосъемки используются средства программного авиационного симулятора с открытым исходным кодом FlightGear. К проекту FlightGear добавлены файлы, которые реализует специализированный сетевой сервис. С его помощью из внешнего приложения можно менять параметры моделирования, устанавливать позицию и свойства виртуальной видеокамеры, считывать видеоизображения.

Использование FlightGear имеет определенные преимущества по сравнению с традиционными средствами 3D моделирования. Во-первых, не требуется специализированная проработка ландшафтов. Во-вторых, имитация условий наблюдения (освещенности, погоды, облаков) осуществляется средствами авиасимулятора. В-третьих, облегчается переход от моделирования видеосъемки к решению задач управления БПЛА. Для FlightGear в открытом доступе представлены различные модели летательных аппаратов, базы рельефа, фото-реалистичные текстуры.

ПК «Навигация» также позволяет использовать натурные снимки и видеосюжеты. Структура ПК «Навигация» показана на рис. 1. Прямоугольники, выполненные сплошной линией, соответствуют модулям с графическим пользовательским интерфейсом. Основные потоки данных показаны сплошными стрелками, дополнительные – пунктирными. Информация об эталонных снимках, маршрутах полета, опорных участках, параметрах моделирования и результатах полетов хранится в интегрированной базе данных.



Рис. 1. Структура ПК «Навигация»

Модуль для управления снимками, позволяет сформировать снимок с заданными параметрами с помощью симулятора или загрузить в интегрированную БД натуральный снимок. В модуле для управления маршрутами

реализован наглядный механизм ввода маршрутов. Маршрут определяется как последовательность ключевых точек, для которых указываются географические координаты, высота и время прохождения. Промежуточные точки маршрута рассчитываются посредством сплайн-интерполяции. Опорные участки связаны с конкретным снимком. В ПК «Навигация» реализован инструментальный для их разметки и параметризации.

При выполнении полета можно настроить параметры моделирования (выбрать сезон года, время суток, погоду и пр.), записать исходное видео полета по маршруту или выполнить полет с оценкой навигационных параметров. Функции для определения координат и курса БПЛА реализованы в виде специальной программной библиотеки. Для реализации алгоритмов SIFT и ORB использованы средства библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV.

Результаты полета фиксируются в БД, и в дальнейшем могут быть проанализированы в модуле статистической обработки результатов. Он позволяет оценить эффективность применения алгоритмов анализа изображений для одного или нескольких полетов из заданного набора. Имеется возможность отображения истинной траектории и результатов ее оценки, а также средства для построения графиков ошибок определения навигационных параметров.

Описание тестовой коллекции видеосюжетов

Для проведения исследований с помощью ПК «Навигация» был сформирован набор из 12 видеосюжетов длительностью 200-250 кадров. Были подготовлены эталонные снимки, маршруты полета и опорные участки местности. Высота полета БПЛА варьировалась от 600 до 1500 м. Поле зрения видеокамеры составляло 55x42. Исходные снимки были получены с высоты в 1500 и 2000 метров. Каждому эталонному изображению местности был сопоставлен один маршрут. Общее количество опорных участков для выбранных маршрутов лежало в диапазоне от 10 до 19, в каждом кадре наблюдалось не менее трех ОУ. Ориентация участков изменялась от 0 до 180 угловых градусов.

Примеры кадров из тестового набора видеосюжетов с результатами локализации ОУ показаны на рис. 2.

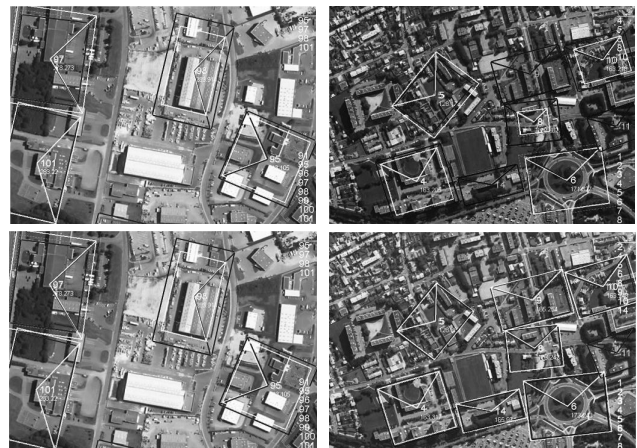
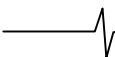


Рис. 2. Кадры из нескольких видеосюжетов с результатами локализации ОУ при использовании алгоритмов SIFT(вверху) и ORB(внизу)



На приведенном рисунке белым цветом показаны найденные опорные участки, черным – эталонные. Номер опорного участка в эталонной базе отображается рядом с его центром.

Критерии эффективности алгоритмов

Для оценки эффективности применения алгоритмов анализа изображений для навигации БПЛА в ходе экспериментов вычислялись следующие критерии.

Критерии надежности локализации ОУ: 1) частота (вероятность) правильного обнаружения ОУ – P_D ; 2) частота (вероятность) ложных тревог – P_{FA} .

Критерии точности локализации ОУ: 1) СКО ошибок локализации ОУ по осям координат – σ_x, σ_y ; 2) относительное время слежения за ОУ t_{tr} , рассчитываемое как отношение времени слежения за ОУ к полному времени его наблюдения в кадре; 3) нормированное СКО ошибки локализации ОУ $\delta = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} / \bar{D}$,

где \bar{D} – средний размер диагонали опорного участка.

Критерии точности локализации БПЛА: 1) СКО определения широты (в метрах) – σ_{Lat} ; 2) СКО определения долготы (в метрах) – σ_{Lon} ; 3) СКО ошибки позиционирования БПЛА $\sigma_G = \sqrt{\sigma_{Lat}^2 + \sigma_{Lon}^2}$; 4) СКО ошибки определения истинного курса – σ_ψ .

Дополнительно было сопоставлено время обработки видеосюжетов каждым из алгоритмов.

Результаты экспериментов

Для заданного набора видеосюжетов было выполнено две серии экспериментов. В первой использовались детектор и дескриптор алгоритма SIFT, во второй – алгоритм ORB. Количественные показатели алгоритмов SIFT и ORB сведены в табл. 1 и 2 соответственно. Усредненные на наборе сюжетов показатели эффективности показаны в табл. 3.

Таблица 1.
Результаты экспериментов для алгоритма SIFT

№ эксп.	$P_D, \%$	$P_{FA}, \%$	σ_x , пикс.	σ_y , пикс.	$t_{tr}, \%$	$\delta, \%$	σ_{Lat} , м	σ_{Lon} , м	σ_G , м	$\sigma_\psi, ^\circ$
1	91,1	2,4	2,5	1,8	90,8	1,57	1,97	2,77	3,37	0,29
2	98,6	1,2	1,2	1,9	98,5	1,83	2,08	2,6	3,33	0,15
3	99,3	1,4	1,0	1,9	99,3	1,24	1,08	2,43	2,66	0,04
4	99,3	0,9	1,5	4,6	99,3	2,81	2,86	4,69	5,49	0,17
5	96,6	0,8	1,8	2,1	96,5	1,99	0,89	3,85	3,96	0,06
6	97,1	3,3	2,2	4,5	97,0	3,28	2,26	4,51	5,05	0,18
7	99,9	1,8	1,4	1,9	99,8	1,47	1,71	3,86	4,22	0,22
8	99,6	6,1	1,7	2,6	99,5	1,56	2,04	4,36	4,81	0,15
9	96,6	0,3	1,9	1,3	96,5	1,51	1,39	1,74	2,22	0,13
10	93,9	4,5	1,2	3,4	93,8	2,00	1,1	3,75	3,91	0,27
11	98,2	2,4	0,7	1,7	98,2	1,08	1,69	1,44	2,22	0,11
12	99,6	4,7	1,2	1,8	99,2	0,99	0,76	1,53	1,71	0,1

Таблица 2.
Результаты экспериментов алгоритма ORB

№ эксп.	$P_D, \%$	$P_{FA}, \%$	σ_x , пикс.	σ_y , пикс.	$t_{tr}, \%$	$\delta, \%$	σ_{Lat} , м	σ_{Lon} , м	σ_G , м	$\sigma_\psi, ^\circ$
1	70,9	0,8	5,5	3,8	65,7	3,40	2,11	2,49	3,27	0,35
2	67,4	0,2	1,2	2	59,1	2,00	2,26	2,34	3,30	0,31
3	97,9	1,1	1,3	2,2	96,7	1,40	1,11	2,79	3,00	0,1
4	98,3	4,3	2,9	5,8	97,2	3,87	3,98	5,38	6,69	0,35
5	87,3	1,1	2	2,6	79,9	2,35	1,02	4,06	4,18	0,17
6	88,0	1,1	2,5	5	86,4	3,67	2,16	4,73	5,20	0,25
7	95,2	0,2	1,7	2,2	91,9	1,65	2,25	4,32	4,87	0,26
8	92,8	7,4	2,3	3,4	90,8	2,06	3,02	5,11	5,93	0,25
9	94,1	0,3	1,9	1,4	90,6	1,57	1,43	1,52	2,08	0,26
10	84,6	2,3	2	3,9	84,3	2,37	1,26	3,92	4,12	0,3
11	89,4	0,3	0,9	1,9	86,8	1,19	1,74	1,38	2,22	0,21
12	97,0	6,4	1,6	2,2	95,9	1,28	0,87	1,78	1,97	0,13

Таблица 3.
Усредненные значения критериев эффективности для двух серий экспериментов

№ эксп.	Алгоритм	$P_D, \%$	$P_{FA}, \%$	σ_x , пикс.	σ_y , пикс.	$t_{tr}, \%$	$\delta, \%$	σ_{Lat} , м	σ_{Lon} , м	σ_G , м	$\sigma_\psi, ^\circ$
1	SIFT	97,48	2,48	1,53	2,46	97,37	1,78	1,65	3,13	3,58	0,16
2	ORB	88,58	2,13	2,15	3,03	85,44	2,23	1,93	3,31	3,89	0,25

Анализ результатов показывает, что оба подхода обеспечивают высокие характеристики обнаружения опорных участков и обеспечивают погрешность их локализации не выше нескольких пикселей. Однако алгоритм SIFT обладает несколько лучшими характеристиками обнаружения. Так, усредненная по выборке частота правильного обнаружения составляет 97,5% у алгоритма SIFT, против 88,6% у алгоритма ORB при весьма близких значениях частоты ложных тревог. В процессе настройки алгоритма ORB было замечено, что ряд параметров крайне чувствителен к размерам опорных участков и в идеале должен быть соотнесен с ними для достижения приемлемого качества обнаружения и локализации этих участков на наблюдаемом изображении. Подход на основе SIFT при фиксированных параметрах алгоритма является более робастным. Отклонение параметров не оказывало существенного влияния на итоговый результат.

В процессе исследований было отмечено, что протяженные прямоугольные участки, лежащие на границах кадра, обнаруживаются несколько хуже, чем квадратные, что может давать вклад в повышение частоты ложных тревог. Численное отличие в значениях частоты правильного обнаружения от относительного времени слежения за опорным участком может объясняться колебаниями их измеренных размеров. В виду этого, может приниматься решение о переключении алгоритма прослеживания в режим прогноза для данного опорного участка. Если по прошествии определенного времени ошибка измерения размеров не уменьшится, то рассматриваемый участок может быть снят со слежения. Очевидно, что при наличии маневров летательного аппарата точность прогнозирования будет снижаться.

На ряде сюжетов наблюдалось заметное снижение качества прослеживания опорных участков для метода

ORB. Данное обстоятельство обусловлено присутствием в кадре опорных участков разного размера и нестабильностью в определении их масштаба и ориентации. Немаловажен тот факт, что при использовании метода ORB намного чаще фиксировались ошибки в определении ориентации опорных участков в 180 градусов. На рис. 3 показаны графики ошибок позиционирования БПЛА при использовании двух сравниваемых алгоритмов.

Применительно к бортовым системам обработки информации важным элементом оценки эффективности применения алгоритмов является достигаемая при этом производительность. Оценить данную характеристику можно сравнивая среднее время обработки кадра. Измерение производительности выполнено на базе процессора Core 2 Duo E8500 с частотой 3,16 ГГц и 4 Гб оперативной памяти. Алгоритм ORB, в среднем оказывается в 2,5-3 раза быстрее SIFT, но проигрывает последнему в надежности локализации опорных участков.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- алгоритм SIFT в целом превосходит сравниваемый подход по качеству обнаружения опорных участков на 9-10% и точности измерения географических координат и курса БПЛА на 25%;
- алгоритм SIFT уступает по быстродействию алгоритму ORB в несколько раз, обеспечивая при этом лучшую помехозащищенность и надежность работы;
- частота правильного обнаружения опорных участков составляет не менее 95% при частоте ложных тревог не более 2,5%;
- нормированное СКО ошибки локализации опорного участка не превышает 3,5%;

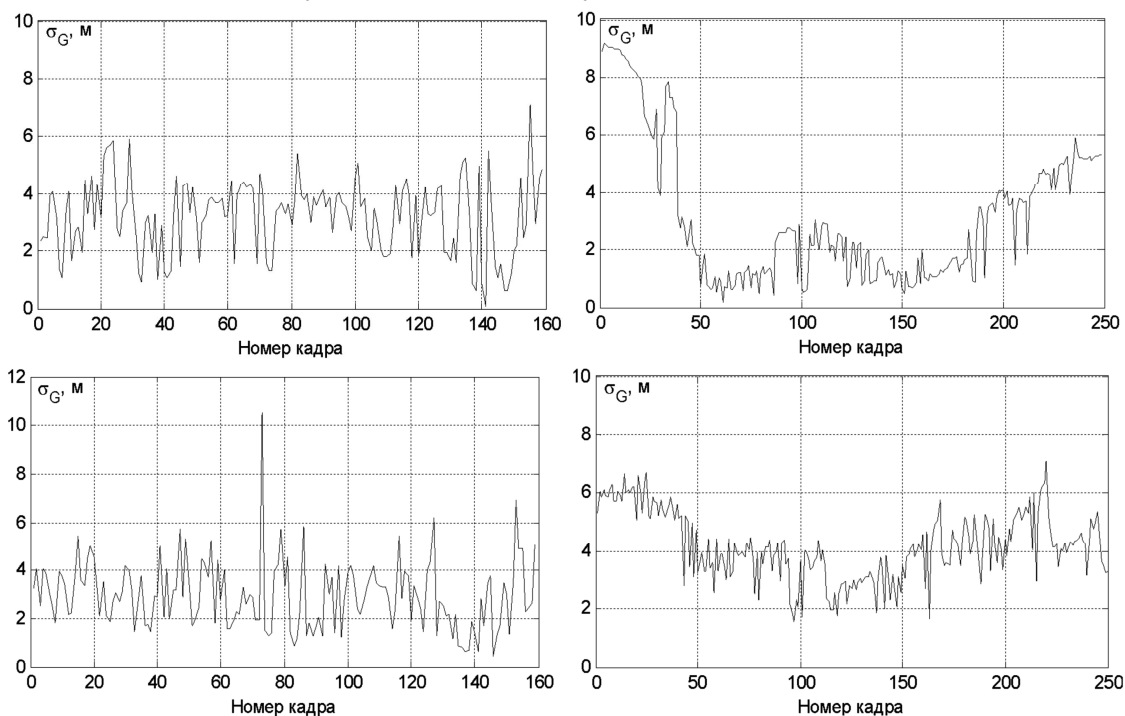
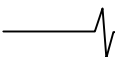


Рис. 3. Ошибка позиционирования БПЛА при использовании алгоритмов SIFT(вверху) и ORB (внизу)



– совокупная ошибка позиционирования БПЛА, характеризующая точность определения географических координат, не превышает 10 метров;

– обеспечиваемая точность определения истинного курса БПЛА не ниже 20 угловых минут, что при отсутствии накопления ошибки и частоте поступления измерений не реже нескольких раз в секунду не приведет к заметному отклонению летательного аппарата от заданной траектории.

Результаты проведенных исследований показывают, что оба сравниваемых алгоритма могут применяться в задаче навигации БПЛА, однако при использовании алгоритма SIFT удается добиться лучших показателей обнаружения опорных участков. Это означает, что подход на базе SIFT менее требователен к характеристикам ОУ и может применяться в более сложных условиях.

Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт 07.514.11.4034).

Литература

1. Tightly-Coupled INS, GPS, and Imaging Sensors for Precision Geolocation / M. Veth, R. Anderson, F. Webber, M. Nielsen // Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation. – San Diego, 2008. – P. 487 – 496

2. Flight Test Results of a Video-Aided GPS/Inertial Navigation System / A. Brown, B. Bockius et al. // Proceedings of ION GNSS. – Ft. Worth, 2007. – P. 1111 – 1117

3. Conte G., Doherty P. Vision-Based Unmanned Aerial Vehicle Navigation Using Geo-Referenced Information // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2009. Volume 2009. – P.10-1 – 10-18.

4. Wu A.D., Johnson E.N., Proctor A.A. Vision-Aided Inertial Navigation for Flight Control / Proceedings of AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit. – San Francisco, 2005. – P.1-13

5. Aerial SLAM with a Single Camera Using Visual Expectation / M.J. Milford, F. Schill et al. // 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – Shanghai, 2011. – P. 2506–2512

6. A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks / A. Cesetti, E. Frontoni et al. // Journal of Intelligent Robotic System. – 2010. – № 57. – P. 233-257

7. Zhang J., Liu W., Wu. Y. Novel Technique for Vision-Based UAV Navigation // Proceedings of IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System. – 2011. – Vol.47. № 4. – P. 2731–2741

8. Kendoul F., Fantoni I., Nonami K. Optic Flow-Based Vision System for Autonomous 3D Localization and Control of Small Aerial Vehicles // Robotics and Autonomous Sys-

tems. – 2009. – №57. –P. 591-602

9. Vision-Based Odometry and SLAM for Medium and High Altitude Flying UAVs / F. Caballero, L. Merino, J. Ferruz, A. Ollero // Journal of Intelligent Robotics System. – 2009. – Vol. 54., Issue 1-3 – P. 137 – 161

10. The Navigation and Control technology inside the AR.Drone micro UAV / P.-J. Bristean, F.Callou // Preprints of the 18th IFAC World Congress. – Milano, 2011. – P. 1477-1484.

11. Практическое применение технологий машинного зрения в решении задач распознавания, восстановления 3D, шивки карт, точного целеуказания, числения пути и навигации / А.Е. Семенов, Е.В. Крюков, Д.П. Рыкованов, Д.А. Семенов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – №2. – С. 92-102

12. Lowe D. G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004.– Vol. 60(2). – PP. 91-110

13. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF / Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G.R. // Proceedings of ICCV. – 2011. – pp. 2564-2571

14. Fischler M.A., Bolles R.C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Comm. of the ACM – 2006 – №24 (6). – pp. 381–395.

15. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. –М.: Вильямс, 2004. – 928 с.

16. Rosten E., Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection // European Conference on Computer Vision, vol. 3951. – 2006. – PP. 430-443.

17. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Коблов Ю.С., Муравьев В.С., Стротов В.В., Фельдман А.Б. Автоматизация разработки и исследования алгоритмов машинного зрения для навигации беспилотных летательных аппаратов на базе специализированного программного комплекса // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №3. – С.85-91.

RESEARCH OF EFFECTIVENESS OF IMAGE ANALYSIS ALGORITHMS IN THE PROBLEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES NAVIGATION

Alpatov B.A., Muraviev V.S., Strotov V.V., Feldman A.B.

In the article the results of studies on the possible application of image analysis algorithms SIFT and ORB in the problem of unmanned aerial vehicles navigation are described. The research has been carried out using specialized software performing modeling of onboard video receiving conditions, navigation parameters estimation, the calculation of the performance criteria of image analysis algorithms.