

УДК 004.93,629.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОСОБЫХ ТОЧЕК С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Мариношенко А.П., Пикенин А.А.

Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского

Предлагается подход, для автономного управления полетом беспилотных авиационных комплексов (БАК). В статье рассматривается проблема автоматического распознавания воздушных целей, основанная на цифровой фильтрации потокового видео, а также на вопросах формирования видовых признаков. Рассматривается задача распознавания наземных и воздушных навигационных сигналов на основе анализа потокового видео с применением методов распознавания образов, а также разработка системы наведения с использованием автоматической идентификации и детектирования движущихся воздушных и мобильных стационарных наземных ориентиров с использованием дескрипторов объектов видовых признаков. Приведен алгоритм работы метода особых точек и построена соответствующая архитектура системы мониторинга навигационных сигналов.

Ключевые слова: распознавания образов, беспилотный летательный аппарат, особые точки, дескрипторы, система технического зрения.

Введение. В наше время, исследование и развитие беспилотных авиационной систем ведутся более чем 78 странах мира. Среди лидеров в производстве таких систем стоит отметить США, Израиль, Канаду, Великобританию и Австралию. При разработке автономных беспилотных авиационных систем важной задачей является их автоматическое ориентирование, позиционирование и навигация в околоземном пространстве. Например, техническая карта производства, развития и исследования беспилотных авиационных систем (БАС) США [1] составленная на 2005–2030 года выносит на первый план решение навигационной задачи БАС на первое место в рейтинге исследований.

Проблема достижения заданной позиции в пространстве играет важную роль в исследовании возможностей БАС. Одним из направлений использования БАС является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в составе смешанных групп, включающих пилотируемые и беспилотные летательные аппараты, или в составе автономно функционирующих, но согласовано управляемых БПЛА. Как показано в работах [2–6] групповое согласованное применение БПЛА может существенно повысить производительность процессов наблюдения, таких как разведка, поиск объектов, аэрофотосъемка, промышленный и экологический мониторинг и пр.

Существенную роль в решении задачи навигации и ориентации группы играет визуальная информация, получаемая от систем технического зрения установленных на борту каждого агента группы [2]. Не смотря на развитость методов и алгоритмов в теории распознавания образов не существует на данный момент не одного универсального метода, который смог бы обеспечить точное определение координат агентов внутри группы.

Сегодня хорошо известны методы для связи и синхронизации действий группы беспилотных летательных аппаратов это есть методы, основанные на радиолокационных принципах такие как реперные радио маяки (триангуляция), глобальные позиционные системы. Но не один с методов не может обеспечить точную навигацию группы без участия внешней первичной инфор-

мации только средствами бортовой электроники. Такая ситуация связана с большим количеством помех, которым подвержены такие системы.

Стоит отметить, опираясь на работы [1–3], *проблема*, связанная с обеспечением точности позиционирования, остаются актуальной и неразрешённой полной мерой. Для решения навигационной задачи управления группой БПЛА необходимо сформируется средний уровень управления, который будет включать в себя методы обработки информации, полученной от визуальных датчиков, теорию распознавания образов и тематическую классификацию навигационных сигналов. Под классификацией полученной информации подразумевается двойственная задача – это отслеживание, идентификация и детектирование наземных объектов с целью построения траектории полёта группы [6; 9]. Вторая задача является схожей с первой, но связана с отслеживанием, идентификацией и детектированием мобильных воздушных объектов для формирования управления в группе.

Создание среднего уровня управления подразумевает собой некоторую подсистему или модуль управления, который отслеживает, идентифицирует, а также детектирует как наземные объекты, так и мобильные воздушные объекты для формирования управляющих сигналов.

Постановка задания. Целью работы разработка системы наведения на цель (воздушный или наземный навигационный ориентир) для реализации полёта БПЛА автономно или в составе группы. Причиной такого явления есть локальность методов теории распознавания образов, которые используются в составе систем технического зрения. Для осуществления полёта БПЛА в формации (группе) система наведения должна быть основана на принципах автономной работы и выполнять идентификацию, детектирование навигационных воздушных подвижных и наземных мобильных навигационных ориентиров посредством дескрипторов видовых признаков, которые заложены в картографической базе данных.

Решение задачи. Основная трудность при разработке такой системы и алгоритма, который бы обеспечил отслеживание, идентифика-

цию и детектирование заключается в том, что сопоставленные кадры существенно различаются вследствие различных условий съемки. Во избежание таких проблем нужно выбирать точки, вносящие вклад в характеристику, либо, ещё лучше, выделять некоторые особые (ключевые) точки и сравнивать их. Суть предлагаемого подхода состоит в том, что мы заменяем объект некоторой его моделью – набором его ключевых точек. Остается еще один неразрешенный вопрос, – каким образом определять, какая ключевая точка одного изображения соответствует ключевой точке другого изображения. Применение детектора позволяет определить только координаты особых точек, а они на каждом изображении разные. Тут в дело и вступают дескрипторы. Дескриптор – это идентификатор ключевой точки, выделяющий её из остальной массы особых точек в текущем кадре.

Структурная схема блока наведения. Построения среднего уровня управления потребует создание такого сегмента (подсистемы управления). Для решения поставленной задачи был разработан блок управления «система наведения». Структурная схема блока построена таким образом, что позволяет решить две подзадачи наведения БПЛА по наземным стационарным воздушным ориентирам и мобильным подвижным воздушным объектам представлена на рисунке 1.

В состав системы наведения входят оптический датчик (ОД) размещённый на поворотном устройстве (ПУ). ОД передает потоковое видео или фото наблюдаемой сцены (земной поверхности и пространства перед БПЛА) на вычислительную систему (ВС), которая идентифицирует, детектирует и дешифрует наземные стационарные и подвижные воздушные объекты на основе сформированных дескрипторов этих объектов в навигационной базе данных. В ВС заложен алгоритм расчёта угловых координат выделенных объектов, после расчёта угловых координат ВС передает управляющие сигналы на автопилот.

Наземные стационарные навигационные ориентиры

Под наземными стационарными ориентирами подразумеваются образы наземных объектов. Стоит разделить наземные ориентиры на две группы: первая группа наземные ориентиры на высоте полёта не выше 1,5 км (точечные, площадные, линейные), вторая группа полёт на высоте выше 1,5 км. Если полёт выполняется на высоте не выше 1,5 км точечные и линейные наземные ориентиры являются базисом построения кривой полёта в силу своей высокой различимости.

Точечные наземные ориентиры имеют особый вид и форму это связано с их небольшими размерами. Точечные наземные ориентиры представлены на рисунке 2.

Таковыми ориентирами могут служить перекрестки, строения, вершины, маяки, прожекторы и даже дымовые шапки или искусственно созданные такие как конусы или круги определённого цвета радиусом до 1 м.

Линейные ориентиры имеют при небольшой ширине большую протяженность. Внешний вид таких ориентиров показан на рисунке 3.

Среди таких ориентиров стоит отметить наиболее важные: реки, каналы, горные хребты, берега морей и океанов, дороги.

Площадной ориентир занимает большую поверхность Земли и выделяется на ландшафте своим особым контуром. Площадные ориентиры представлены на рисунке 4.

Особо важными ориентирами для построения траектории полёта есть площадные ориентиры – это населенные пункты, озера, железнодорожные узлы, леса.

Главными отличительными признаками для наземных ориентиров, становится их качество наблюдения с точки зрения БПЛА. Их дальность и степень видимости. БПЛА должен точно распознать место и легко его найти на подстилающей земной поверхности. Ориентиры могут значительно выделяться на местности, а могут быть малозаметными, нехарактерными. Надежными ориентирами являются большие объекты –

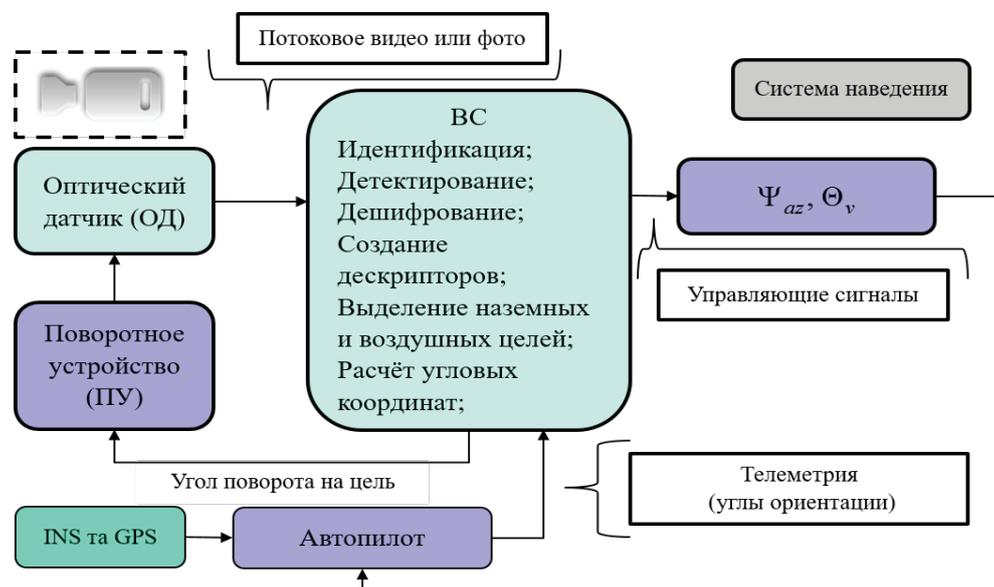


Рис. 1. Структурная схема блока наведения



Рис. 2. Точечные наземные ориентиры

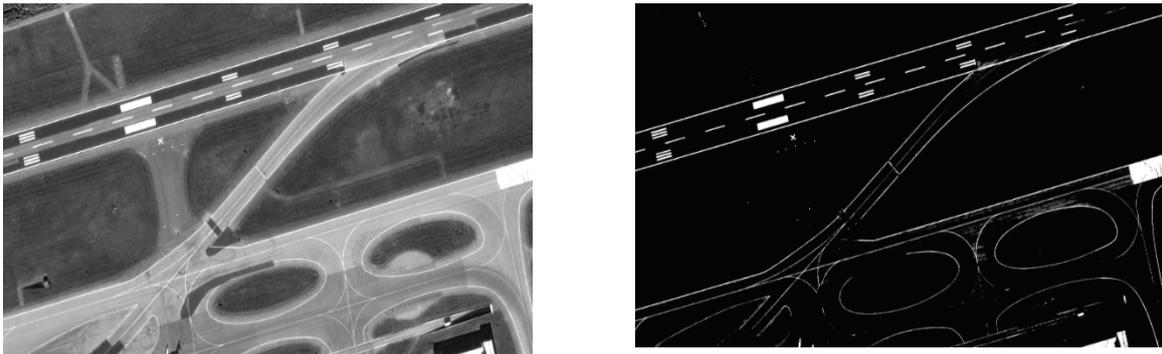


Рис. 3. Линейные наземные ориентиры



Рис. 4. Площадные наземные ориентиры

поселки, реки, озера, шоссейные дороги по степным просторам.

Основная трудность при разработке такого метода и алгоритма который бы обеспечил отслеживание, идентификацию и детектирование заключается в том, что сопоставленные кадры (текущий и эталонный образ имеющийся в бортовой памяти) существенно различаются вследствие различных условий съемки (пространственное положение БПЛА, ракурс, бортовые и атмосферные помехи, время суток т. д.).

Есть определенные методы для сравнения изображений, основанные на сопоставлении знаний об изображении в целом. Тогда задача сравнения изображений сводится к задаче сравнения их характеристик. Но эти методы работают только в идеальных ситуациях. Причины все те же: появление новых объектов на изображении, перекрытие одних объектов другими, шумы, изменения

масштаба, положения объекта на изображении, положения камеры в трехмерном пространстве, освещения, аффинные преобразования и т.д.

Для анализа таких проблем нужно либо выбирать точки, вносящие вклад в характеристику, либо, ещё лучше, выделять некоторые особые (ключевые) точки и сравнивать их. Здесь мы подошли к идее сопоставления изображений по ключевым точкам. Суть состоит в том, что мы заменяем изображение некоторой моделью – набором его ключевых точек.

Ключевой точкой будем считать такую точку, которая имеет некие признаки, существенно отличающие ее, от основной массы точек. Например, это могут быть края линий, небольшие круги, резкие перепады освещенности, углы и т.д. Предполагая, что ключевые точки присутствуют на образце всегда, можно поиск образца свести к поиску на сцене ключевых точек образца. А по-

скільки ключевые точки сильно отличаются от основной массы точек, то их число будет существенно меньше, чем общее число точек образца.

Детектором будем называть метод извлечения ключевых точек из изображения. Детектор должен обеспечивать инвариантность нахождения одних и тех же особых точек относительно преобразований изображений.

Остается еще один неразрешенный вопрос, каким образом определять, какая ключевая точка одного изображения соответствует ключевой точке другого изображения. Применение детектора позволяет определить только координаты особых точек, а они на каждом изображении разные. Тут в дело и вступают дескрипторы. Дескриптор – идентификатор ключевой точки, выделяющий её из остальной массы особых точек. В свою очередь, дескрипторы должны обеспечивать инвариантность нахождения соответствия между особыми точками относительно преобразований изображений.

В итоге получим следующую схему решения задачи сопоставления изображений:

1. На изображениях выделяются ключевые точки и их дескрипторы.
2. По совпадению дескрипторов выделяют соответствующие друг другу ключевые точки.
3. На основе набора совпавших ключевых точек строится модель преобразования изображений, с помощью которого из одного изображения можно получить другое.

Особые точки наземных стационарных навигационных ориентиров

Теория распознавания образов имеет большой набор методов и алгоритмов отслеживания, идентификации и детектирования наземных стационарных объектов. Самыми эффективными методами отслеживания, идентификации и детектирования наземных ориентиров, есть методы, производящие сравнение эталонной информации (база данных известных навигационных объектов) с наблюдаем сценой в реальном масштабе времени.

Среди таких алгоритмов стоит отметить алгоритм SURF [6] (Speeded-Up Robust Features) на основании которого решаются две задачи – первая задача представляет собой поиск особых точек в видео потоке, а вторая задача на основе полученных точек создаются дескрипто-

ры объектов, которые инвариантны к масштабу и вращению исходных кадров видео потока. Это значит, что описание ключевой точки будет одинаково, даже если образец (навигационный объект) изменит размер и будет повернут. Кроме того, сам поиск ключевых точек также должен обладать инвариантностью, таким образом, чтобы повернутый объект сцены имел тот же набор ключевых точек, что и образец.

Метод определяет особые точки с помощью матрицы Гессе. Детерминант матрицы Гессе достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. Он хорошо детектирует пятна, углы и края линий.

Гессиан инвариантен относительно вращения. Но не инвариантен масштабу. Поэтому SURF использует разномасштабные фильтры для нахождения гессианов.

Для каждой ключевой точки считается направление максимального изменения яркости (градиент) и масштаба, взятый из *scale*-коэффициента матрицы Гессе. Градиент в точке вычисляется с помощью фильтров Хаара.

После нахождения ключевых точек SURF формирует их дескрипторы. Дескриптор представляет собой набор из 64 (либо 128) чисел для каждой ключевой точки. Эти числа отображают направление градиента вокруг ключевой точки. Поскольку ключевая точка представляет собой максимум гессиана, то это гарантирует, что в окрестности точки должны быть участки с разными градиентами. Таким образом, обеспечивается дисперсия (различие) дескрипторов для разных ключевых точек.

Направление градиента окрестностей ключевой точки считается относительно направления градиента вокруг точки в целом (по всей окрестности ключевой точки). Таким образом, достигается инвариантность дескриптора относительно вращения. Размер же области, на которой считается дескриптор, определяется масштабом матрицы Гессе, что обеспечивает инвариантность относительно масштаба. Направление градиента также считается с помощью фильтра Хаара. Пример нахождения и построения таких точек изображен на рисунке 5.

Нужно отметить, несмотря на то, что SURF используется для поиска объектов на изображении, он сам работает не с объектами. SURF никак

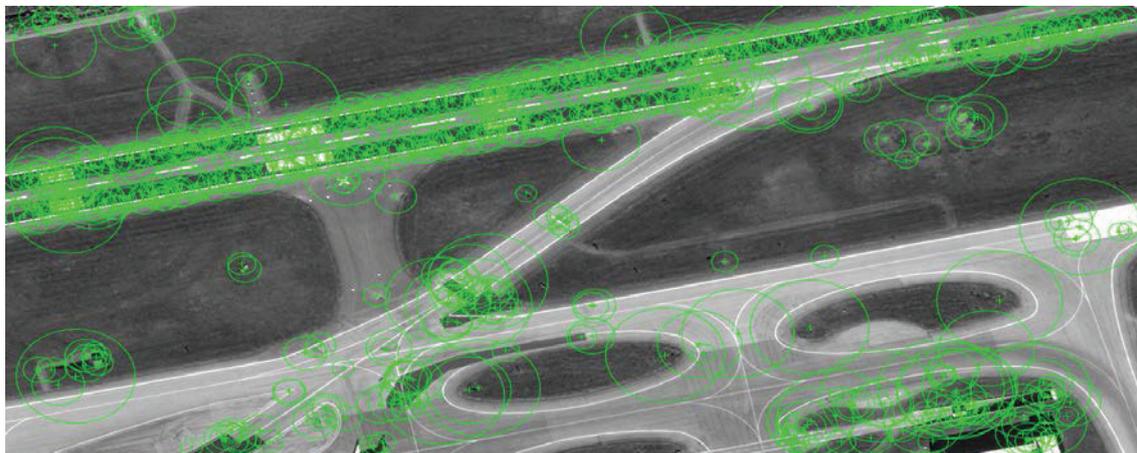


Рис. 5. Особые точки методом SURF

не выделяет объект из фона. Он рассматривает изображение как единое целое и ищет особенности этого изображения. При этом особенности могут быть как внутри объекта, так и на фоне, а также на точках границы объекта и фона. В связи с этим метод плохо работает для объектов простой формы и без ярко выраженной текстуры. Внутри таких объектов метод скорее всего не найдёт особых точек. Точки будут найдены либо на границе объекта с фоном, либо вообще только на фоне. А это приведёт к тому, что объект не сможет быть распознан в другом изображении, на другом фоне.

Обратим ваше внимание на то, что, навигационные ориентиры, есть объекты на земной поверхности, но алгоритм SURF ищет особые точки и сравнивает с эталонной базой дескрипторов особых точек, а значит сформированный навигационный ориентир это есть сгруппированный дескриптор особых точек. На рисунке 6 представлены такие ориентиры – дескрипторы. База данных навигационных ориентиров состоит из дескрипторов навигационных ориентиров.

Особые точки малоразмерных мобильных воздушных ориентиров

Отметим сходство с поиском наземных стационарных ориентиров для поиска воздушных мобильных ориентиров в кадре камеры нужно сформировать дескрипторную модель особых точек модели БПЛА и на последующем видео ряде проводить поиск уже сформированного дескриптора БПЛА. Дескриптор БПЛА который находится в базе данных навигационных объектов методом SIFT изображён на рисунке 7. Для проверки работоспособности алгоритма SURF на мобильных подвижных воздушных объектах таких

как БПЛА также была построена дескрипторная модель рисунок 8.

Подробное описание алгоритма SIFT можно найти в [7]. SIFT полностью инвариантный аффинным преобразованиям алгоритм сопоставления изображений должен охватывать все шесть аффинных параметров. Метод SIFT охватывает 4 параметра путем нормализации вращений, смещений и моделирования всех масштабов от текущего кадра, и комплексного дескриптора в памяти. В рамках данной задачи нас интересуют малоразмерные быстро движущиеся объекты, такие как БПЛА.

Для отслеживания геометрического центра БПЛА в кадре нужно объединить два метода SIFT и SURF. После дескрипторных матриц двух алгоритмов получен комплексный дескриптор объекта БПЛА. Координаты геометрического центра объекта в кадре можно рассчитать непосредственно за положением идентифицированной комплексной модели БПЛА на протяжении видеоряда. Такой подход обеспечит отсеивание неинформативных зон метода SIFT и найденных ложных точек метода SURF. Поиск геометрического центра по отслеженной дескрипторной модели БПЛА в кадре сводится к простым подходам: методу наименьших квадратов (аппроксимации облака координат в сегменте кадра) плотности особых точек в дескрипторе или методу скользящего среднего это позволит существенно сократить объёмы вычисления, что существенно важно при работе в реальном времени. Для простоты вычислений кадр был разбит на четыре сегмента результаты работы алгоритма изображён на рисунок 9.

Признание. Эта работа была поддержана грантом для научных исследований № 0115U002524, UA.

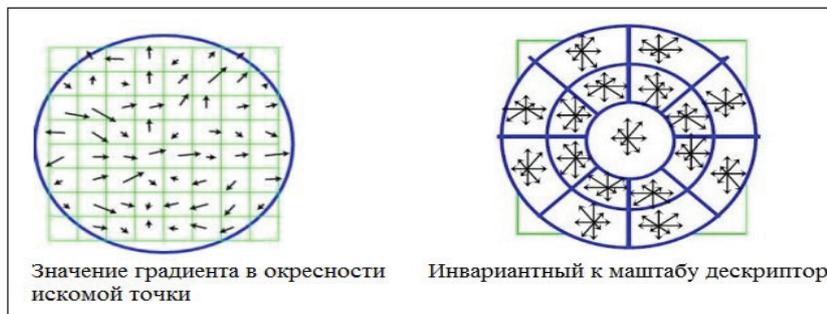


Рис. 6. Дескриптор линейного навигационного ориентира

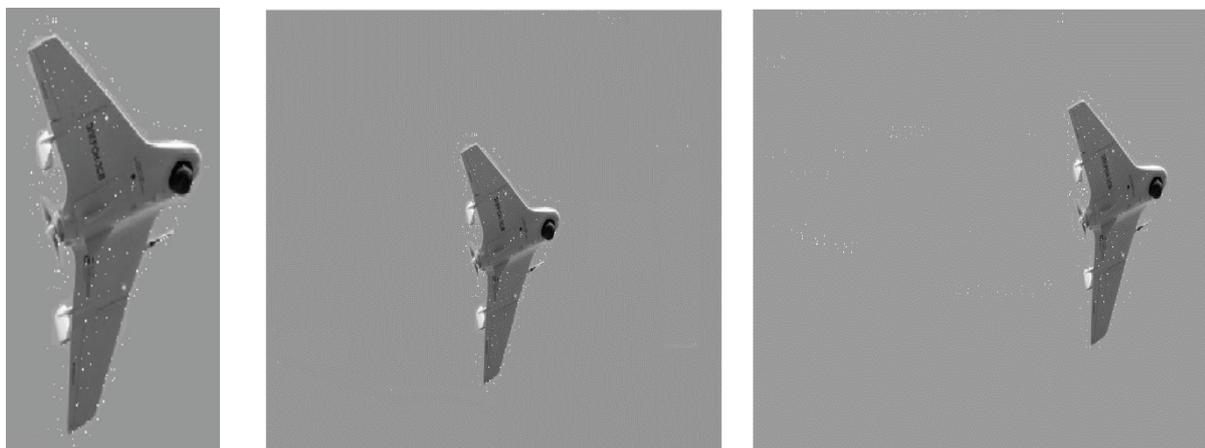


Рис. 7. Прообраз дескриптора ключевых точек объекта алгоритмом SIFT

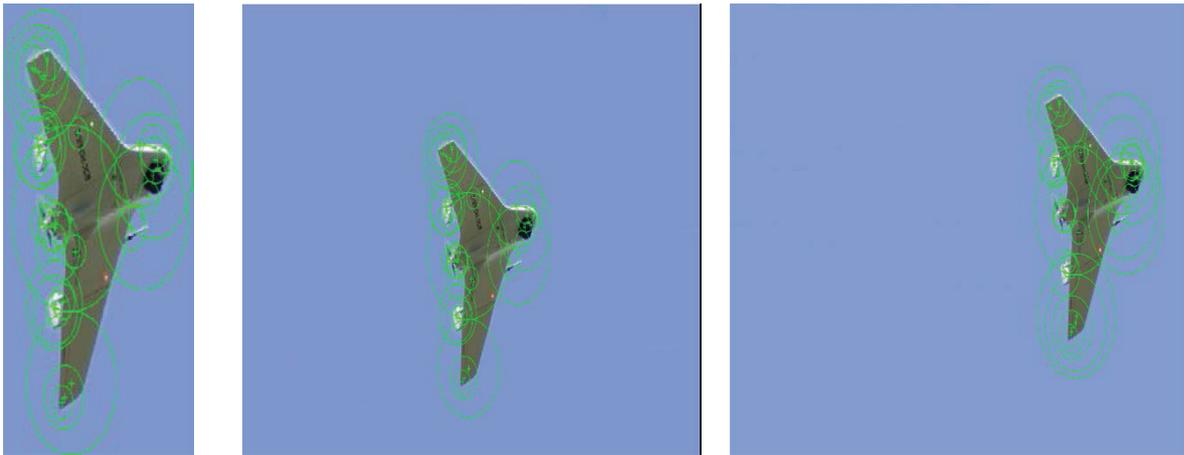


Рис. 8. Прообраз дескриптора ключевых точек объекта алгоритмом SURF

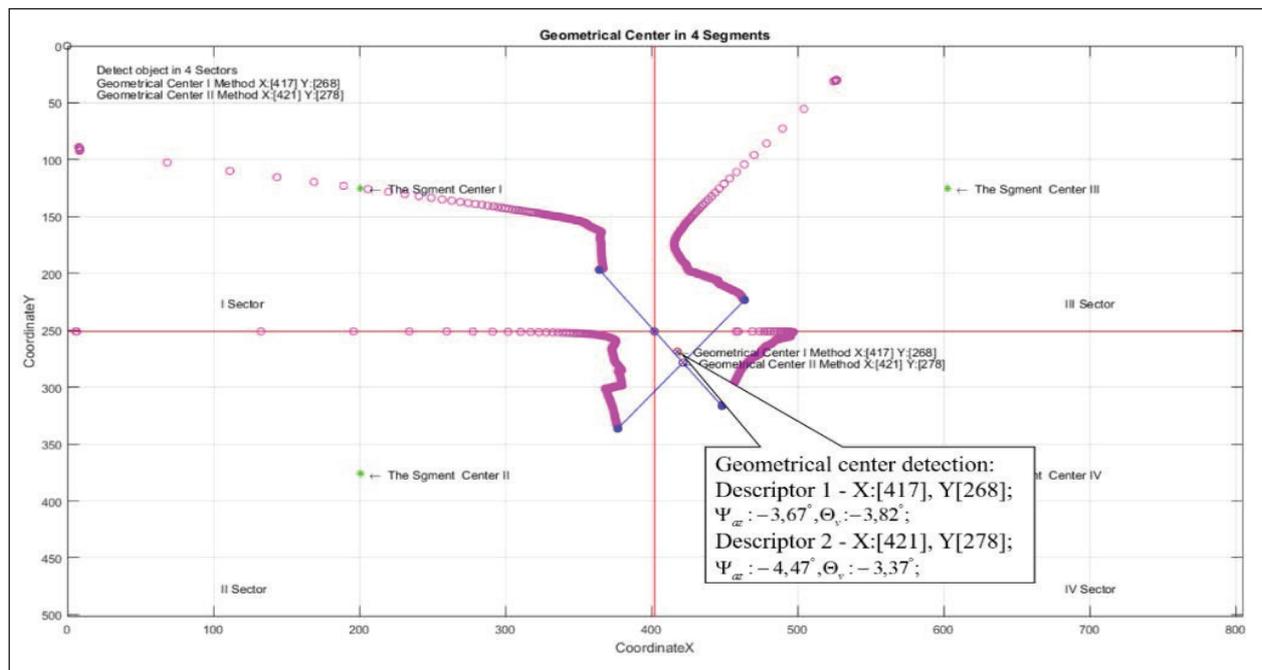


Рис. 9. Нахождение геометрического центра искомого подвижного навигационного ориентира БПЛА

Выводы. В данной работе был предложен подход к решению навигационной задачи ориентации группы БПЛА посредством системы технического зрения. Представлена и разработана структурная схема блока наведения БПЛА которая базируется на теории распознавания образов. Предложен алгоритм нахождения воз-

душных подвижных и мобильных стационарных навигационных сигналов, в основание которого заложено формирование дескрипторов объектов видовых признаков по особым точкам. Алгоритм наведения позволяет идентифицировать и детектировать их положение навигационных сигналов по информации от оптического датчика.

Список литературы:

1. Unmanned aircraft systems (UAS) roadmap 2005–2030.
2. Soleymani T. Behavior-Based Acceleration Commanded Formation Flight Control / T. Soleymani, F. Saghafi // International Conference on Control, Automation and Systems 2010 Oct. 27–30, in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea. 2010.
3. Das A.K. A Vision-Based Formation Control Framework / A.K. Das, R. Fierro, V. Kumar, J.P. Ostrowski, J. Spletzer // IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 18, № 5, 2002.
4. Hammer J. Investigating Virtual Structure Based Control Strategies for Spacecraft Formation Maneuvers / G. Piper, O. Thorp and J. Watkins // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Providence, Rhode Island, 2004.
5. Gosiewski Z. UAV Autonomous Formation Flight Experiment with Virtual Leader Control Structure / Z. Gosiewski, L. Ambroziak // Solid State Phenomena, Vol. 198, p. 254–259, 2013.
6. Marynoshenko O. P. Algorithm for formation flight of unmanned aerial vehicles / POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ, MECHANIKA WLOTNICTWIE/ O.P. Marynoshenko, R. Głębocki // TOM 1, ML-XVII 2016. P. 103–111. ISBN 978-83-932107-8-7.

7. Bay H. Speeded-Up Robust Features (SURF) / H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, L.V. Gool // Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision. Springer LNCS. 2006. Vol. 3951. Pt. 1. P. 404–417.
8. Fazli S. Particle Filter Based Object Tracking with Sift and Color Feature / S. Fazli, H.M. Pour, H. Bouzari // Second International Conference on Machine Vision, p. 89–93 (2009).
9. Пікенін О.О. Реалізація польоту групи безпілотних літальних апаратів / О.О. Пікенін, О.П. Мариношенко, О.В. Прохорчук // Механіка гіроскопічних систем. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Випуск № 31 за 2016 рік. С. 12–14.
10. Пікенін О.О. Алгоритм пошуку та ідентифікації опорних точок повітряних суден / О.О. Пікенін, О.П. Мариношенко, О.В. Прохорчук // Інформаційні системи, механіка та керування. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Випуск № 14 за 2016 рік. С. 120–130.

Мариношенко О.П., Пікенін О.О.

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І ДЕТЕКТУВАННЯ НАВІГАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Анотація

Пропонується підхід, для автономного керування польотом безпілотних авіаційних комплексів (БАК). В статті розглядається проблема автоматичного розпізнавання повітряних цілей, яка базується на цифровій фільтрації потокового відео, а також на питаннях формування видових ознак. Розглядається задача розпізнавання наземних та повітряних навігаційних сигналів на основі аналізу потокового відео з застосуванням методів розпізнавання образів, а також розробка системи наведення з використанням автоматичної ідентифікації та детектування рухомих повітряних та мобільних стаціонарних наземних орієнтирів з використанням дескрипторів об'єктів видових ознак. Наведено алгоритм роботи методу особливих точок та побудована відповідна архітектура системи моніторингу навігаційних сигналів.

Ключові слова: розпізнавання образів, безпілотне повітряне судно, особливі точки, дескриптори, система технічного зору.

Marynoshenko O.P., Pikenin O.O.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

USING METHODS OF SPECIAL POINTS FOR IMPROVEMENT OF IDENTIFICATION AND DETECTION OF NAVIGATION SIGNALS

Summary

This paper proposes a leader following autonomous approach for UAV formation flight. This work is devoted to the development of a new system of search and identification unmanned aerial vehicle using a machine vision system. The task of recognition of ground and air navigation signals is observed. Such approach based on the analysis a video stream by using methods of images recognition. Also, the development of vision systems for automatic identification and detection of moving air and mobile stationary landmarks is carried. The vision system use object handles species range. The algorithm of the method of singular points is presented, their corresponding architecture are designed.

Keywords: image recognition, an unmanned aerial vehicle, the singular points, descriptors, vision system.