

22. *Il'chenko A.V., P'yavchenko A.O. Problemy postroeniya sistemy tekhnicheskogo zreniya mobil'nogo robota na osnove infrakrasnogo 3D-datchika glubiny okruzhayushchego prostranstva [The constructing's problems of a mobile robot's computer vision system based on an infrared 3D depth sensor of the environment], Sb. trudov XIII Vserossiyskoy nauchn. konf. mol. uch., asp. i stud. «Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie (ITSAiU-2015)» [Proceedings of the XIII All-Russian Scientific Conference of junior scientists, postgraduate students and students. «Information technology, systems analysis and management (ITSAaM-2015)»]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2016, Vol. 3, pp. 50-60.*
23. *P'yavchenko A.O., Pereverzev V.A., Il'chenko A.V. Tekhnologiya SLAM i metodologicheskie problemy ee realizatsii v robototekhnike [SLAM technology and methodological problems of its application in robotics], Sb. trudov XIV Vserossiyskoy nauchn. konf. mol. uch., asp. i stud. «Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie (ITSAU-2016)» [Proceedings of the XIV All-Russian Scientific Conference of junior scientists, postgraduate students and students. «Information technology, systems analysis and management (ITSAaM-2016)»]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2016, Vol. 2, pp. 345-351.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Пьявченко Алексей Олегович – Южный федеральный университет; e-mail: aop61@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

Ильченко Артем Владимирович – e-mail: rsaprykin@gmail.com; тел.: +79081866792; кафедра вычислительной техники; аспирант.

P'yavchenko Aleksey Olegovich – Southern Federal University; e-mail: aop61@mail.ru;

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of утп. sc.; associate professor.

Pchenko Artem Vladimirovich – e-mail: gamerx.ar@gmail.com; phone: +79081866792; the department of computer engineering; postgraduate student.

УДК 007.52:004.896:004:94

С.В. Кулешов, А.А. Зайцева

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОВЗЛЕТА И АВТОПОСАДКИ БАС*

Ключевой целью исследования является разработка и тестирование подхода к реализации системы автовзлета и автопосадки беспилотной авиационной системы (БАС) мультироторного или вертолетного типа на основе системы технического зрения (СТЗ). Актуальность исследования обусловлена современными требованиями к БАС, в том числе необходимостью повышения автономности управления такими системами в режиме стабилизации полета. В процессе анализа существующего состояния исследований в данной области выявлено, что наибольшую заинтересованность в развитии технологий БАС проявляют государственные ведомства и службы, функции которых связаны с охраной, контролем и мониторингом объектов, в том числе с ликвидацией чрезвычайных ситуаций, а также компаний, деятельность которых связана с получением пространственных данных. Для достижения поставленной в исследовании цели решаются следующие задачи: анализ существующих систем автовзлета-автопосадки без применения систем глобального позиционирования; сравнение различных вариантов компоновки и взаимного расположения компонентов системы между летательным аппаратом и посадочной площадкой; разработка

* Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания на 2018 г. № 0073-2018-0002.

рекомендаций по использованию маркеров в системах автовзлета-автопосадки в зависимости от особенностей их реализации и использования. В процессе решения поставленных задач и постановки экспериментов с использованием различных компоновок и алгоритмов, проведен детальный анализ временного распределения работы алгоритма локализации положения БЛА с помощью управляемых маркеров в разрабатываемой системе автовзлета-автопосадки на основе СТЗ. Установлено, что наибольшей эффективностью обладают маркеры, управляемые компьютером системы посадки по каналу управления (радиоканалу). При этом упрощаются методы распознавания и локализации маркера. Становится возможным использовать фактор времени с априорным знанием о состоянии маркера и использовать простые методы СТЗ, например разностный кадр. При этом не требуется делать различие в характеристиках самих маркеров или использовать паттерн расположения маркеров, так как с каждый момент времени можно включать только один конкретный маркер, что облегчает его идентификацию. На основе проведенных исследований и сделанных выводов формулируются задачи для дальнейшей разработки темы: исследование методов СТЗ для осуществления автовзлета и автопосадки в сложных метеоусловиях (СМУ) и разработка модульного программного обеспечения для реализации разработанных алгоритмов.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА); беспилотные авиационные системы (БАС); мультикоптеры; маркеры; СТЗ; автовзлет; автопосадка.

S.V. Kuleshov, A.A. Zaytseva

THE VARIANTS OF IMPLEMENTATION OF COMPUTER VISION SYSTEM FOR UAS AUTO-TAKEOFF AND AUTO-LANDING PROCEDURE

The key purpose of the research is the development and testing of the approach to the implementation of auto-takeoff and auto-landing system in an unmanned aircraft system (UAS) of a multi-rotor or helicopter type based on a computer vision system (CV-system). Such a study is relevant due to modern requirements for UAS, including the necessity of increasing the autonomy of the management of such systems in the mode of flight stabilization. Analyzing the existing state of research in this field, it has been revealed that the state agencies and services whose functions are related to the protection, monitoring of facilities, including the liquidation of emergencies, as well as companies whose activities are connected with the acquisition of spatial data are mostly interested in the development of UAS technologies. To achieve the goal of this study, the following tasks are solved: analysis of the existing auto-takeoff and auto-landing systems not using global positioning systems; comparison of various layout options and the relative positioning of system components between the aircraft and the landing pad; development of recommendations on the use of markers in auto-takeoff and auto-landing systems, depending on the features of their implementation and use. In the process of solving this tasks and experimentations using various layouts and algorithms, a detailed analysis of the time distribution of the operation of the UAV's position localization algorithm using controlled markers in the developed system of auto-takeoff and auto-landing on the basis of CV system. It has been established that the most effective are the markers controlled by the landing system computer via the control channel (radio channel). This simplifies the methods of recognition and localization of the marker. It becomes possible to use the time factor with an a priori knowledge about the state of the marker and use simple CV methods, for example, a difference frame. It does not need to make a difference in the characteristics of the markers themselves or use the pattern of the markers, since only one particular marker can be included at any time, which facilitates its identification. Based on the research and conclusions, problems are formulated for further development of the topic: the study of the CV methods for the implementation of auto take-off and auto-landing in difficult weather conditions and the development of modular software for the implementation of the developed algorithms.

Unmanned aircraft vehicles (UAV); unmanned aircraft systems (UAS); multicopters; markers; CV-system; auto-takeoff; auto-landing.

Введение. Растущая востребованность беспилотных авиационных систем (БАС) в различных целях привело к необходимости развития технологий удаленного управления летательными аппаратами (ЛА), в частности, малоразмерными мультикоптерами [1, 2]. Наиболее активно развиваются многороторные летающие платформы (три-, quadro-, гексо- коптеры). Многороторные ЛА имеют ряд преимуществ по сравнению с остальными беспилотными и пилотируемыми летательными аппаратами, в особенности для съемки небольших объектов с высоким пространственным разрешением, так как многороторный ЛА, в отличие от вертолета, более стабилен в воздухе, дешевле в эксплуатации и легче в управлении [1, 2].

Повышение автономности дистанционно пилотируемых ЛА (ДПЛА) и переход к полностью автономным БАС, работающим на основании программы – полетного задания, производится путем совершенствования электронных систем и программного обеспечения автопилота и стабилизации.

Наибольшую заинтересованность в развитии технологий БАС проявляют государственные ведомства и службы, функции которых связаны с охраной, контролем и мониторингом объектов, в том числе с ликвидацией чрезвычайных ситуаций, а также компании, деятельность которых связана с получением пространственных данных [3, 4].

Среди известных коммерческих полетных контроллеров – интегрированных систем стабилизации и управления, информация о которых не является закрытой, следует отметить систему NAZA [5] – многоосевую систему управления, созданную специально для малых ЛА и включающую в себя полетный контроллер, гироскопы, акселерометры и бародатчик.

Другие системы, такие как DJI Wookong Multi-Rotor stabilization controller и FY-DoS GPS (система управления полетом мультироторных ЛА для коммерческих и промышленных автопилотных применений), принадлежат к классу инерциальных систем стабилизации с режимом висения и автовозвратом [6].

Современные тенденции построения систем управления для автономных ЛА предполагают использование методов снижения уровня неопределенности о пространственном положении и окружающей обстановке средствами самого ЛА без привлечения внешнего пилота (оператора).

Среди коммерческих мультироторных ДПЛА наибольшее количество типов таких датчиков использует компания DJI. Для этого, кроме типовых типов датчиков для получения пространственной картины (ультразвуковых и инфракрасных дальномеров, барометров и альтиметров, а также блоков MEMS-датчиков), используются дополнительные датчики для построения 3D-модели окружающей обстановки: видеокамеры, ToF-камера (времяпролетная камера) [7], лазерный дальномер и LIDAR-системы [8].

При этом для ряда ответственных этапов полета (таких как взлет, выдерживание над посадочной площадкой (ПП), руление по воздуху, посадка) не существует устоявшегося комплексного технологического решения, для их выполнения требуется большая точность в управлении ЛА, связанная с необходимостью его удержания в заданной точке пространства. Для рассматриваемого класса устройств (малоразмерные ЛА мультироторного типа) режим висения, в том числе для осуществления автовзлета-автопосадки, – это наиболее продолжительный по времени режим стабилизации, в котором на позиционировании ЛА особенно сильно сказываются негативное воздействие внешней среды, дрейф инерциальных систем навигации и недостаточная точность систем глобального позиционирования. Поэтому для решения этой задачи целесообразнее использовать технологии управления с помощью «оптического захвата», например, маркерных меток области интереса [1, 9–13].

В данной работе производится анализ принципов построения систем авто-взлета-автопосадки, основанных на использовании методов технического зрения и рассматриваются особенности использования маркеров.

Система автовзлета-автопосадки под управлением СТЗ. Важным компонентом системы автопосадки является подсистема определения пространственного положения БЛА. Для этого могут использоваться собственные инерциальные системы навигации, системы глобального позиционирования, системы внешнего наведения (в том числе системы технического зрения (СТЗ)) [6, 14].

Под системой определения пространственного положения БЛА в данной работе понимается определение пространственных координат и углов (крена, тангажа и рыскания, рис. 1), которые задают наклон летательного средства относительно его центра инерции по трём осям объекта в геоцентрической прямоугольной системе координат [15].

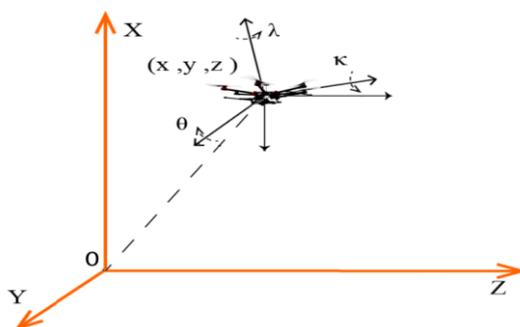


Рис. 1. К определению понятия пространственной локализации БЛА

Можно выделить следующие ключевые требования к системе автопосадки, выполнение которых позволит обеспечивать эффективную посадку ЛА в условиях недоступности оператора:

- ◆ однозначное определение пространственного положения, включая ориентацию, высоту над ПП, угол курса;
- ◆ возможность работы в широком диапазоне условий окружающей среды и погодных условий;
- ◆ наличие сенсорной избыточности (избыточного количества датчиков), необходимой для сохранения устойчивого определения пространственных параметров при частичном перекрытии некоторых маркеров при эволюциях ЛА;
- ◆ минимальное время принятия решения о параметрах пространственного положения ЛА.

В данной работе предлагается подход к построению системы автовзлета и автопосадки ЛА мультироторного или вертолетного типа на основе СТЗ, без применения систем глобального позиционирования, которые оказываются недостаточно эффективны на взлетной и посадочной фазе полета [12–13], а также когда использование средств радионавигации невозможно.

В систему автовзлета-автопосадки под управлением СТЗ [1, 13, 16] входят следующие компоненты:

- ◆ камера или набор камер для фиксации маркерных меток (маркеров наведения);
- ◆ система маркеров, предназначенная для локализации камерой;
- ◆ процессор, реализующий алгоритмы технического зрения и определяющий пространственное положение ЛА относительно системы координат ПП;

- ♦ процессор, формирующий управляющие воздействия на двигатели и управляющие поверхности (при их наличии) для приведения ЛА в требуемое пространственное положение;

- ♦ канал передачи данных.

Возможны следующие варианты компоновки компонентов системы:

1. Камеры располагаются таким образом, чтобы контролировать область пространства над посадочной площадкой (ПП). Камеры способны одновременно наблюдать и ЛА и ПП. Компоненты СТЗ и управляющего компьютера расположены стационарно на земле (рис. 2). Подобный вариант использован в работах [17–18]. Основным недостатком такой технологии является то, что рабочая область ЛА ограничена небольшим (обычно прямоугольным) объемом и пригодна, в основном, для применения внутри помещений.

Стоит отметить проект, разработанный в Институте динамических систем и управления в Цюрихе [18], в котором используются одновременно и маркеры и СТЗ. Система СТЗ с двумя или четырьмя камерами используется для автоматического поддержания заданного направления полета. Эта система обеспечивает высокую точность, но требует предварительно подготовленной рабочей области, так как маркеры расположены на ЛА, а система СТЗ стационарно расположена вне ЛА [17–19].

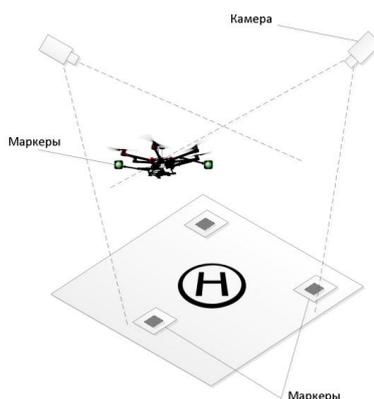


Рис. 2. Камеры располагаются таким образом, чтобы контролировать область пространства над ПП (внешние камеры находятся выше ПП)

2. Камеры расположены на ПП и ориентированы в направлении ЛА, на котором расположены маркеры (рис. 3).



Рис. 3. Камеры расположены на ПП

3. Камеры расположены на ЛА и ориентированы в направлении ПП, на которой расположены маркеры (рис. 4).

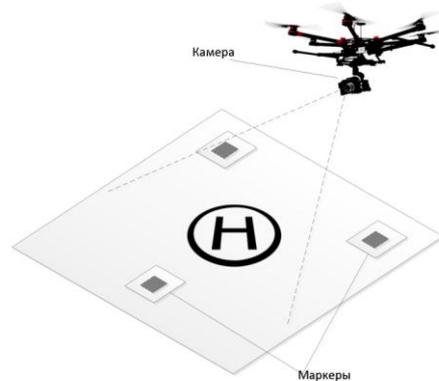


Рис. 4. Третий способ расположения камер и маркеров

При использовании паттернов маркеров с известными геометрическими параметрами становится возможным определение расстояния до маркеров (высоты) с помощью СТЗ, вместо (или дополнительно) барометрических альтиметров и дальномеров [20].

Использование маркеров. Проанализировав существующие разработки систем автовзлета-автопосадки ЛА в условиях недоступности систем глобального позиционирования [1], были выделены следующие способы реализации маркеров: размещение маркеров на ПП и реализация маркерных меток на ЛА.

Маркеры на ПП могут быть реализованы следующими способами:

- ◆ контрастное изображение некоторого паттерна, подлежащего распознаванию методами технического зрения;
- ◆ огни, управляемые дистанционно процессором;
- ◆ цветные светодиоды или ИК-светодиоды, работающие в постоянном и импульсном режиме.

Варианты реализации маркерных меток на СТЗ:

- ◆ цветные светодиоды или ИК-светодиоды, работающие в постоянном и импульсном режиме;
- ◆ огни, управляемые дистанционно процессором;
- ◆ система уголковых отражателей и осветителя;
- ◆ контрастное изображение-паттерн (включая форму фюзеляжа).

В ходе проведенных экспериментов в простых метеоусловиях (ПМУ) были выявлены следующие особенности.

Система инфракрасных маркеров и инфракрасной камеры является традиционной схемой локализации пространственных объектов. Ее достоинством является устойчивость к различным условиям освещенности и изменениями фона, но имеются некоторые проблемы при направлении в сторону солнца, дающего сильную ИК засветку, а также в сложных метеоусловиях (СМУ). Также требуются дополнительные средства идентификации отдельных маркеров для определения курсового угла ЛА.

Использование цветных маркеров (в том числе RGB-светодиодов) облегчает решение задачи идентификации отдельных маркеров в идеальных условиях, но при изменении условий освещения, наличии тумана, пыли возникает слишком

много ошибок распознавания маркеров. Использование маркеров управляемого цвета на основе RGB-светодиодов позволяет компенсировать негативные последствия изменения условий внешней среды.

Использование в качестве маркеров контрастного геометрического паттерна возможно только при хороших условиях видимости и/или хорошей освещенности.

Расположение камер на ЛА требует либо размещения системы СТЗ на борту, либо организации широкополосного канала передачи данных с низкой задержкой, также требуется принимать дополнительные меры по компенсации вибраций от винтомоторной группы ЛА.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что наибольшей эффективностью обладают маркеры, управляемые компьютером системы посадки по каналу управления (радиоканалу).

Рассмотрим подробнее схему управляемых маркеров, когда каждый маркер локализуется последовательно циклично в период выделенного для него временного интервала (таймслота) (рис. 5). В этом случае, в начале каждого таймслота компьютером системы посадки выдается команда на включение соответствующего маркера. Механизм синхронизации с камерой гарантирует получение, по крайней мере, одного кадра, во время которого маркер находится во включенном состоянии. При наличии технической возможности целесообразно использовать аппаратные сигналы синхронизации с камерами. После получения кадра выдается команда на выключение маркера, а СТЗ начинает обработку изображения для локализации соответствующего маркера. В конце каждого таймслота может формироваться защитный интервал для синхронизации с камерой и ожидания обработки кадра системой СТЗ.



Рис. 5. Временная диаграмма локализации БЛА при помощи управляемых маркеров

Максимальная частота опроса подсистемы определения положения в этом случае определяется через время $f_{max} = T_{общ}^{-1}$ и зависит от количества маркеров, частоты кадров видеокамеры, задержек в радиоканале и производительности СТЗ. Интервалы t_1 и t_2 определяются задержками радиоканала и программной реализацией.

В таком режиме компьютер включает каждый маркер независимо, в импульсном режиме, ожидая его появления на изображении с камеры. При этом упрощаются методы распознавания и локализации маркера. Становится возможным использовать фактор времени с априорным знанием о состоянии маркера и использовать простые методы СТЗ, например разностный кадр. При этом не требуется делать различие в характеристиках самих маркеров (различие по цвету) или использовать паттерн расположения маркеров, так как в каждый момент времени можно включать только один конкретный маркер, что облегчает его идентификацию.

Использование режима управляемых маркеров несколько повышает время принятия решения о пространственном положении ЛА в связи с тем, что каждое состояние (включено/выключено) каждого маркера требует, по крайней мере, одного полного кадра, т.е. зависит от частоты кадров камер и быстродействия системы СТЗ.

Режим управляемых маркеров является предпочтительным во всех случаях, когда возможно организовать канал управления между ЛА и системой автопосадки.

Заключение. Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

В работе проанализированы существующие системы автовзлета-автопосадки без применения систем глобального позиционирования. Предложен подход к разработке системы автовзлета и автопосадки ЛА мультироторного или вертолетного типа на основе СТЗ, разработана функциональная схема такой системы.

Показано, что при любом расположении камер в системе автовзлета-автопосадки для облегчения локализации ключевых точек ЛА или ПП системами СТЗ необходимо использовать маркеры. Проанализированы различные способы расположения маркеров и варианты реализации маркерных меток.

В ходе исследования выработаны следующие рекомендации:

- ◆ режим управляемых маркеров является предпочтительным во всех случаях, когда возможно организовать канал управления между ЛА и системой автопосадки.

- ◆ использование цветных маркеров (в том числе RGB-светодиодов) облегчает решение задачи идентификации отдельных маркеров только в идеальных условиях, при любом изменении условий ошибки идентификации превышают допустимые пределы.

- ◆ использование в качестве маркеров контрастного геометрического паттерна возможно только при хороших условиях видимости и/или хорошей освещенности.

Наибольшей эффективностью обладают маркеры, управляемые компьютером системы посадки по каналу управления (радиоканалу). В таком режиме компьютер включает каждый маркер независимо, в импульсном режиме, ожидая его появления на изображении с камеры. При этом упрощаются методы распознавания и локализации маркера. Становится возможным использовать фактор времени с априорным знанием о состоянии маркера и использовать простые методы СТЗ, например разностный кадр. При этом не требуется делать различие в характеристиках самих маркеров (различие по цвету) или использовать паттерн расположения маркеров, так как в каждый момент времени можно включать только один конкретный маркер, что облегчает его идентификацию.

Дальнейшие исследования будут посвящены исследованию методов СТЗ для осуществления автовзлета и автопосадки в сложных метеоусловиях (СМУ) и разработке модульного программного обеспечения для реализации разработанных алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Aksenov A.Y., Kuleshov S.V., Zaytseva A.A.* An application of computer vision systems to solve the problem of unmanned aerial vehicle control // *J. Transport and Telecommunication.* – 2014. – Vol. 15, No. 3. – P. 209-214.
2. *Аксенов А.Ю., Зайцева А.А., Кулешов С.В., Ненаусников К.В.* Варианты обеспечения посадки при автономном управлении беспилотными мультироторными летательными аппаратами // *Труды МАИ.* – Вып. № 96. – URL: <http://trudy.mai.ru/published.php?ID=85880>.
3. *Барбасов В.К. и др.* Многороторные беспилотные летательные аппараты и возможности их использования для дистанционного зондирования земли // *Инженерные изыскания.* – 20112. – № 10. – С. 38-42.

4. Барбасов В.К., Гречищев А.В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. – 2014. – № 8. – С. 27-31.
5. DJI Innovations. (2013). Naza for Multi-Rotor User Manual. Guangdong. (V2.8 2013.05.03 Revision).
6. Saripalli S., Montgomery J.F., Sukhatme G.S. Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 2003. – Vol. 19, Is. 3.
7. Radu Horaud, Miles Hansard, Georgios Evangelidis, Menier Clément. An Overview of Depth Cameras and Range Scanners Based on Time-of-Flight Technologies. // Machine Vision and Applications Journal, 2016. – URL: <https://hal.inria.fr/hal-01325045>.
8. Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere series, Springer series in optical sciences. Vol. 102 / C. Weitkamp (Ed.). – New York: Springer, 2005. – 460 p.
9. Автоматическая посадка БПЛА на движущийся автомобиль. – URL: <http://absrf.ru/ru/technology/2016-01-26.htm>.
10. Веремеенко К.К., Пронькин А.Н., Репников А.В. Алгоритмы структурной перестройки бортовых подсистем интегрированной системы посадки беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. – 2011. – Вып. № 49. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=28110>.
11. Павлова Н.В., Смеюха А.В. Повышение эффективности выполнения полетного задания современными маневренными летательными аппаратами // Труды МАИ. – 2016. – Вып. № 87. – URL: http://trudy.mai.ru/upload/iblock/ebf/pavlova_smeyukha_rus.pdf.
12. Corke P. An inertial and visual sensing system for a small autonomous helicopter // J. Robot. Syst. – 2004. – Vol. 21 (2). – P. 43-51.
13. Cesetti A., Frontoni E., Mancini A. et al. A Visual Global Positioning System for Unmanned Aerial Vehicles Used in Photogrammetric Applications // J. Intell Robot Syst. – 2011. 61: 157. Doi:10.1007/s10846-010-9489-5.
14. Garcia Carrillo, L.R., Dzul Lopez, A.E., Lozano, R. et al. Combining Stereo Vision and Inertial Navigation System for a Quad-Rotor UAV // J. Intell. Robot. Syst. – 2012. 65: 373. Doi:10.1007/s10846-011-9571-7.
15. Bai G.; Liu J.; Song Y.; Zuo Y. Two-UAV Intersection Localization System Based on the Airborne Optoelectronic Platform. Sensors 2017, 17, 98.
16. Cesetti A., Frontoni E., Mancini A., Zingaretti P., Longhi S. A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks // Selected papers from the 2nd International Symposium on UAVs, Reno, Nevada, U.S.A. June 8–10, 2009. – P. 233-257.
17. Levin A., Szeliski R. Visual odometry and map correlation. // In: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC, USA. 2004.
18. ETH IDSC. Flying Machine Arena. Zurich. – 2014. – URL: <http://www.idsc.ethz.ch>.
19. Ritz R., Müller M.W., Hehn M., D'Andrea R. Cooperative quadcopter ball throwing and catching // Proceedings of Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference. Vilamoura. October 2012, IEEE. 2012. – P. 4972-4978.
20. Aksenov A.Y., Kuleshov S.V., Zaytseva A.A. An Application of Computer Vision Systems to Unmanned Aerial Vehicle Autolandings / A. Ronzhin et al. (Eds.): ICR 2017, LNAI 10459. – P. 105-112, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-66471-2_12.

REFERENCES

1. Aksenov A.Y., Kuleshov S.V., Zaytseva A.A. An application of computer vision systems to solve the problem of unmanned aerial vehicle control, *J. Transport and Telecommunication*, 2014, Vol. 15, No. 3, pp. 209-214.
2. Aksenov A.Yu., Zaytseva A.A., Kuleshov S.V., Nenausnikov K.V. Variants of landing providing for autonomous control of unmanned multi-rotor vehicles, *Trudy MAI* [Trudy MAI], Issue No. 96. Available at: <http://trudy.mai.ru/published.php?ID=85880>.
3. Barbasov V.K. *i dr.* Mnogorotornnye bespilotnye letatel'nye apparaty i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya dlya distantsionnogo zondirovaniya zemli [Multi-rotor unmanned aerial vehicles and their use for remote sensing of the earth], *Inzhenernyye izyskaniya* [Engineering survey], 2012, No. 10, pp. 38-42.

4. *Barbasov V.K., Grechishchev A.V.* Multitrotornye bespilotnye letatel'nye apparaty, predstavlennye na rossiyskom rynke: obzor [Multicopter unmanned aerial vehicles in the Russian market: a review], *Inzhenernye izyskaniya* [Engineering survey], 2014, No. 8, pp. 27-31.
5. DJI Innovations. (2013). Naza for Multi-Rotor User Manual. Guangdong. (V2.8 2013.05.03 Revision).
6. *Saripalli S., Montgomery J.F., Sukhatme G.S.* Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2003, Vol. 19, Is. 3.
7. *Radu Horaud, Miles Hansard, Georgios Evangelidis, Menier Clément.* An Overview of Depth Cameras and Range Scanners Based on Time-of-Flight Technologies, *Machine Vision and Applications Journal*, 2016. Available at: <https://hal.inria.fr/hal-01325045>.
8. Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere series, Springer series in optical sciences. Vol. 102, C. Weitkamp (Ed.). New York: Springer, 2005, 460 p.
9. Avtomaticheskaya posadka BPLA na dvizhushchiysya avtomobil' [Automatic landing of a UAV on a moving car]. Available at: <http://absrf.ru/ru/technology/2016-01-26.htm>.
10. *Veremeenko K.K., Pron'kin A.N., Repnikov A.V.* Algoritmy strukturnoy perestroyki bortovykh podsystem integrirovannoy sistemy posadki bespilotnogo letatel'nogo apparata [Algorithms of structural rearrangement of the onboard subsystems of the integrated landing system of an unmanned aerial vehicle], *Trudy MAI* [Trudy MAI], 2011, Issue No. 49. Available at: <http://trudymai.ru/published.php?ID=28110>.
11. *Pavlova N.V., Smeyukha A.V.* Povyshenie effektivnosti vypolneniya poletnogo zadaniya sovremennymi manevrennymi letatel'nymi apparatami [The increasing the efficiency of the flight task by modern maneuverable aircraft], *Trudy MAI* [Trudy MAI], 2016, Issue No. 87. Available at: http://trudy.mai.ru/upload/iblock/ebf/pavlova_smeyukha_rus.pdf.
12. *Corke P.* An inertial and visual sensing system for a small autonomous helicopter, *J. Robot. Syst.*, 2004, Vol. 21 (2), pp. 43-51.
13. *Cesetti A., Frontoni E., Mancini A. et al.* A Visual Global Positioning System for Unmanned Aerial Vehicles Used in Photogrammetric Applications, *J. Intell Robot Syst.*, 2011. 61: 157. Doi:10.1007/s10846-010-9489-5.
14. *Garcia Carrillo, L.R., Dzul Lopez, A.E., Lozano, R. et al.* Combining Stereo Vision and Inertial Navigation System for a Quad-Rotor UAV, *J. Intell. Robot. Syst.*, 2012. 65: 373. Doi:10.1007/s10846-011-9571-7.
15. *Bai G.; Liu J.; Song Y.; Zuo Y.* Two-UAV Intersection Localization System Based on the Airborne Optoelectronic Platform. *Sensors* 2017, 17, 98.
16. *Cesetti A., Frontoni E., Mancini A., Zingaretti P., Longhi S.* A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks, *Selected papers from the 2nd International Symposium on UAVs, Reno, Nevada, U.S.A. June 8-10, 2009*, pp. 233-257.
17. *Levin A., Szeliski R.* Visual odometry and map correlation. // In: *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington, DC, USA. 2004.
18. ETH IDSC. Flying Machine Arena. Zurich. 2014. Available at: <http://www.idsc.ethz.ch>.
19. *Ritz R., Müller M.W., Hehn M., D'Andrea R.* Cooperative quadcopter ball throwing and catching, *Proceedings of Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference. Vilamoura. October 2012, IEEE. 2012*, pp. 4972-4978.
20. *Aksenov A.Y., Kuleshov S.V., Zaytseva A.A.* An Application of Computer Vision Systems to Unmanned Aerial Vehicle Autolanding, A. Ronzhin et al. (Eds.): *ICR 2017, LNAI 10459*, pp. 105-112, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-66471-2_12.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Э.В. Мельник.

Кулешов Сергей Викторович – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН); e-mail: kuleshov@iias.spb.su; 199178, г. Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39; тел.: 88123235139; д.т.н.; зав. лабораторией автоматизации научных исследований.

Зайцева Александра Алексеевна – e-mail: cher@iias.spb.su; к.т.н.; старший научный сотрудник.

Kuleshov Sergey Victorovich – Saint-Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Science; e-mail: kuleshov@iias.spb.su; 39, 14th Line, Saint-Petersburg, 199178, Russia; phone: +78123235139; dr. of eng. sc.; chief of laboratory.

Zaytseva Alexandra Alexeevna – e-mail: cher@iias.spb.su; cand of eng. sc.; senior researcher.