

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Обоснование выбора источников излучения для системы технического зрения в задаче автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов

А.М. Агеев¹, В.Г. Бондарев¹, В.В. Проценко¹

¹ Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования

"Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил

"Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж)

Министерства обороны Российской Федерации, 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Ст.Большевиков, д. 54а

Аннотация

Обоснован целесообразный спектральный диапазон источников излучения для применения в автоматической системе посадки беспилотных летательных аппаратов. Предложен способ синхронизации фотоэкспозиции системы технического зрения и излучения ориентиров для однозначного определения их взаимного расположения. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система посадки, инфракрасный диапазон, контрастный ориентир, лазерное излучение, импульсный режим.

Цитирование: Агеев, А.М. Обоснование выбора источников излучения для системы технического зрения в задаче автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов / А.М. Агеев, В.Г. Бондарев, В.В. Проценко // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 2. – С. 239-245. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-875.

Citation: Ageev AM, Bondarev VG, Protsenko VV. Justification of the choice of radiation sources for a computer vision system in the problem of automatic landing of unmanned aerial vehicles. Computer Optics 2022; 46(2): 239-245. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-875.

Введение

Неотъемлемым этапом применения любого многоцветного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) независимо от его функционального назначения является посадка. Этот этап характеризуется высоким уровнем сложности технической реализации и во многом определяет такие важные характеристики комплексов с БПЛА, как допустимые условия применения, автономность, оперативность повторного применения. Основным препятствием на пути гарантированного решения задачи автоматизации посадки является отсутствие удовлетворительных способов измерения положения БПЛА. Так, применение для автоматической посадки БПЛА известных в пилотируемой авиации радиотехнических систем инструментальной посадки метрового диапазона [1] не представляется возможным по причине низкой точности, сложности определения высоты, дальности, а также высоких массогабаритных характеристик. Микроволновые системы посадки [2] имеют низкую помехоустойчивость и подвержены влиянию множества факторов на точностные характеристики. Спутниковые системы посадки [3], в том числе с использованием наземных станций дифференциальной коррекции, также обладают низкой надежностью (по этой причине они до сих пор не сертифицированы) и малой помехоустойчивостью. Разработка эффективных

систем подавления (или искажения навигационного поля) спутниковых навигационных систем делает целесообразным применение таких систем в военной авиации только в мирное время и в условиях локального краткосрочного конфликта с низкотехнологичным противником. Лазерные системы посадки сканирующего типа [4, 5] позволяют определять только линейные координаты БПЛА, причем для организации автоматического управления необходима устойчивая работа командно-телеметрической радиолинии управления и передачи данных, что усложняет систему, снижает надежность и помехозащищенность. В последние годы активно ведутся исследования по внедрению визуальных систем посадки на основе систем технического зрения (СТЗ) [6, 7, 8], с широким применением алгоритмов распознавания изображений. Достоинством таких систем является возможность автономной (не привязанной к внешним системным компонентам и средствам) посадки. Недостатками предлагаемых систем видимого диапазона являются сложность алгоритмов, большие вычислительные затраты, не позволяющие реализовать системы на малых БПЛА, зависимость от времени суток, погодных условий, влияние приземных градиентов температуры воздуха, а также высокие требования к качеству аэродромов и посадочных площадок.

Существующие методы определения координат БПЛА относительно взлетно-посадочной площадки,

например [9, 10], неприменимы для необорудованных посадочных площадок, либо имеют низкую точность, либо для реализации этих методов требуется технически сложное оборудование, обладающее значительными массой, габаритами и стоимостью [11]. Поэтому поиск и разработка новых способов, схем и средств посадки БПЛА является одной из актуальных задач, от успешного решения которой, в конечном счете, зависит расширение области применения и боевых возможностей БПЛА.

1. Способ определения координат беспилотного летательного аппарата относительно взлетно-посадочной полосы по наземным контрастным ориентирам

В работах [12, 13] предложен способ определения координат беспилотных летательных аппаратов относительно взлетно-посадочной полосы с использованием СТЗ. Система, которая его осуществляет, состоит из трех наземных контрастных ориентиров, размещаемых на посадочной площадке в заданной конфигурации, бортовой цифровой видеокамеры с вычислителем и программно-алгоритмическим обеспечением, позволяющим осуществлять поиск, захват, распознавание и сопровождение ориентиров, вычисление угловых и линейных координат БПЛА относительно посадочной площадки и формирование заданных значений рассогласования этих координат от линии глиссады в автопилот БПЛА для формирования в нем управляющих воздействий.

Достоинством такой системы является высокая точность измерения навигационных параметров, малый вес и стоимость бортового оборудования. К недостаткам следует отнести невозможность её использования при солнечной погоде на фоне ярко освещенной поверхности земли (из-за потери контрастности), а также в сложных метеорологических условиях. Неоднозначность определения расположения ориентиров при заходе на посадку под различными углами также может вносить погрешность в измерение координат беспилотного летательного аппарата, что критично на последнем этапе полетного задания. Этим объясняется необходимость проведения исследований по обоснованию характеристик наземной и бортовой части системы определения координат БПЛА.

2. Постановка задачи

Целью исследования является выбор оптимального диапазона источников излучения (ориентиров), расширяющего допустимые метеоусловия применения, и разработка способа синхронизации фотоэкспозиции системы технического зрения и излучения ориентиров для однозначного определения их взаимного расположения.

3. Обоснование выбора диапазона и типа источников излучения

Выбор спектрального диапазона источников излучения, а вместе с этим и типа излучателей является задачей, которая имеет множественное решение.

Анализ работ в этой области показывает, что особый интерес вызывает применение ближнего инфракрасного диапазона. Именно такой диапазон применяется в системах атмосферной оптической линии связи, которые бурно развиваются в последние годы [14].

Так, китайские исследователи [15] для определения координат БПЛА предлагают использовать светодиодные источники, этот тип излучателей распространён в системах подсветки для камер видеонаблюдения (рис. 1а). Достоинствами такого решения является доступность и невысокая стоимость оборудования, простота конструкции оптических элементов. Недостатки подхода заключаются в относительно небольших дальностях применения (до 500 м), в связи с низкой мощностью источников и применением интерференционного светофильтра, который снижает и так низкую энергетическую эффективность всей системы.

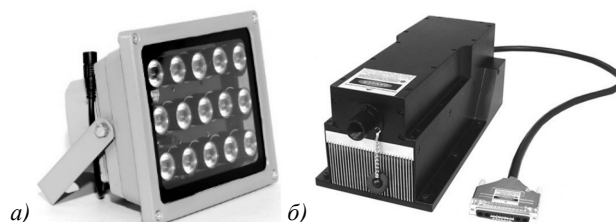


Рис. 1. Светодиодный прожектор 0,85 мкм (а) и полупроводниковый лазер 1,55 мкм (б)

Чтобы преодолеть это противоречие, предлагается применение совместно с узкополосным светофильтром узкополосного излучателя. Это приводит к необходимости применения лазерного источника излучения. Полупроводниковые лазеры (рис. 1б) обладают высоким КПД, малыми габаритами и весом, простотой конструкции, надежностью и низкой стоимостью. В настоящее время в РФ производят полупроводниковые лазеры в области спектра 0,2...1,8 мкм, который совпадает с окнами прозрачности атмосферы [16] (рис. 2). В табл. 1 приведены характеристики инфракрасных светодиодных и лазерных источников.

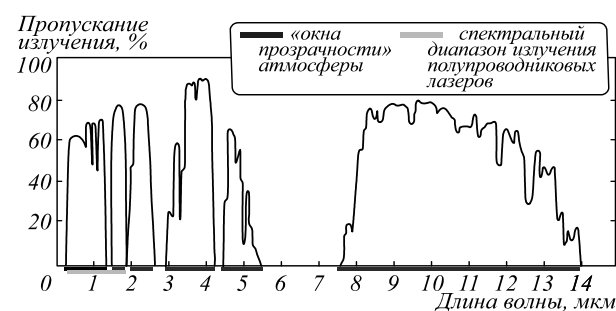


Рис. 2. Диаграмма пропускания излучения в атмосфере

Поглощение в ближней ИК-области в основном осуществляется частицами воды, всегда присутствующими в атмосфере. При этом в длинноволновой ИК-области (более 2 мкм) газовая абсорбция может оказывать более серьезное влияние. Наиболее подходящими диапазонами являются 0,85 мкм, 1,06 мкм,

1,55 мкм, коэффициент пропускания у которых более 70% [17]. Еще одним фактором, влияющим на выбор диапазона излучения, является уменьшение дальности приема оптического сигнала лазерных ориентиров в условиях плохой видимости, ограничивающей применение рассмотренного метода измерения координат беспилотного летательного аппарата.

На рис. 3 изображен график зависимости коэффициента пропускания излучения с длинами волн

0,85 мкм, 1,06 мкм, 1,55 мкм при различных дальностях видимости для смоделированной атмосферы средних широт, полученный с помощью программы MODTRAN, предназначенной для моделирования распространения электромагнитного излучения в атмосфере в различных спектральных диапазонах. Римскими цифрами от I до V обозначена характеристика дальности видимости и погодные условия, которые ей соответствуют.

Табл. 1. Характеристики источников в ближнем инфракрасном диапазоне

Наименование	Диапазон длин волн	Ширина спектральной линии	Максимальная мощность	Угол расходимости
Светодиодные источники				
BLD-HP005IR8XX-E42	800 – 890 нм	35 нм	5 Вт	140°
BLD-HP007IR8XX-E42	810 – 870 нм	24 нм	7 Вт	120°
ARPL-10W-EPL IR8XX	800 – 900 нм	40 нм	10 Вт	70°
Полупроводниковые лазеры				
SSP-DLN-XXX	760 – 1550 нм	3 нм	20 Вт	3°
RFL-MXX	1100 – 1800 нм	2 нм	100 Вт	4°
TLR-500 W	1900 – 2005 нм	1 нм	500 Вт	1°

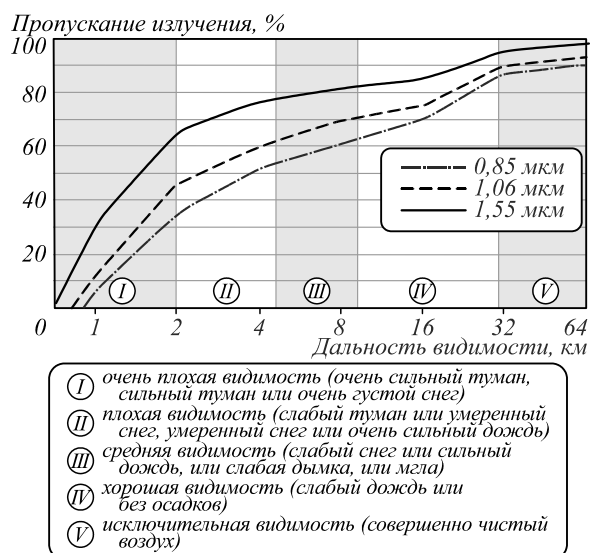


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания излучения в атмосфере при различных дальностях видимости

Из графика видно, что источники излучения диапазона 1,55 мкм являются наиболее предпочтительным и в связи с наибольшим коэффициентом пропускания в атмосфере в условиях плохой видимости. Применение выбранной длины волны излучения в контрастных ориентирах позволит расширить допустимые метеоусловия применения системы определения координат БПЛА и сможет обеспечить распознавание ориентиров в слабый туман, умеренный снег или очень сильный дождь. Резюмируя все вышесказанное, можно однозначно сделать вывод о том, что светодиодные источники диапазона 0,85 мкм целесообразно применять на небольших дальностях, в простых погодных условиях. Их доступность определяет выбор источников для создания систем посадки

БПЛА малого класса бюджетного сегмента, а также для применения на начальных стадиях исследований и разработок. Наиболее эффективным путем решения задачи выполнения посадки БПЛА, расширения возможности их летной эксплуатации в различное время суток, а также в условиях плохой видимости и помех является применение лазерного излучения диапазона 1,55 мкм. Предпочтительность его использования в средствах навигации обуславливается высокой мощностью, а впоследствии и спектральной яркостью, малой угловой расходимостью пучка излучения и повышенной проникающей способностью в условиях плохой видимости (туман, дождь, снегопад, плотная дымка) в сравнении с излучением светодиодных источников.

4. Способ синхронизации фотоэкспозиции системы технического зрения и излучения источников

В рассмотренном способе определения координат беспилотного летательного аппарата предполагается использование непрерывного режима работы контрастных ориентиров, что приводит к низкому коэффициенту полезного действия измерительной системы, поскольку излучение ориентиров используется только в момент фотоэкспозиции системы технического зрения (рис. 5 участок до синхронизации). За пределами этого интервала времени излучение ориентиров не используется для целей измерения и является бесполезным. Чтобы увеличить энергию излучения лазера, используемую для измерительных целей, необходимо перейти к импульсному режиму работы, при условии синхронизации интервалов излучения лазеров ориентиров с интервалами фотоэкспозиции системы технического зрения. Второй аспект перехода к импульсному режиму состоит в увеличении помехо-

устойчивости такой системы за счет импульсного кодирования информации о расположении ориентиров. Такой подход позволит однозначно определять расположение БПЛА относительно созвездия ориентиров.

Система, реализующая способ синхронизации фотоэкспозиции системы технического зрения и излучения контрастных ориентиров, представлена на рис. 4. Она включает в себя наземный и бортовой сегменты. Наземный сегмент содержит три разнесенных ориентира (O1, O2, O3), излучение импульсов которых обеспечивается общим генератором синхроимпульсов (ГСИ). Бортовую систему технического зрения, помимо светофильтра, объектива, видеокамеры и вычислителя, предлагается дополнить системой синхронизации интервала фотоэкспозиции видеокамеры с импульсами от лазерных ориентиров в составе фотоприемника и схемы формирования экспозиции.

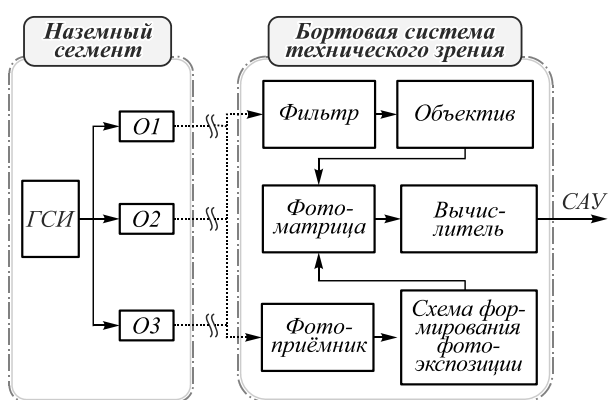


Рис. 4. Структура системы автоматического регулирования мощности лазерных ориентиров и синхронизации фотоэкспозиции системы технического зрения

На временной диаграмме (рис. 5) показана последовательность синхроимпульсов с периодом T_{cu} , которые обеспечивает формирование импульсов излучения лазерных ориентиров с длительностью τ_u .

Импульсы лазерного излучения ориентиров, принимаемые бортовой системой технического зрения $\tau_{фз} = \tau_u$, управляют экспозицией видеокамеры, что обеспечивает ее синхронную работу с импульсами лазерного излучения и получение изображений ориентиров (рис. 5, участок после синхронизации). Кодирование информации относительно расположения ориентиров обеспечивается количеством импульсов в цуге, что позволит однозначно определять номер ориентира, а впоследствии и их относительное расположение.

Таким образом, импульсный режим работы лазерных ориентиров и бортовой видеокамеры обеспечивает как увеличение энергии излучения во время фотоэкспозиции, так и снижение доли энергии фонового излучения от посадочной площадки, принимаемого видеокамерой. Кроме того, применение импульсного кодирования дает возможность передачи информации о местоположении объекта, сведений о ветре, состоянии посадочной площадки и т.д. на борт беспилотного летательного аппарата по оптическому каналу, ис-

ключая воздействие естественной или преднамеренной радиоэлектронной помехи.

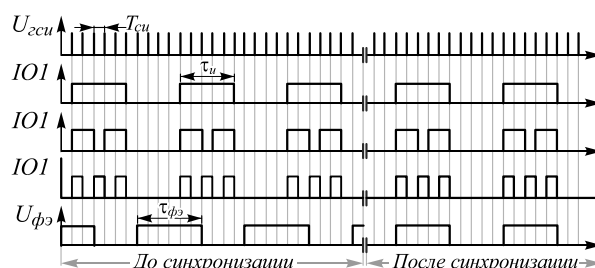


Рис. 5. Временная диаграмма синхронизации излучения ориентиров и фотоэкспозиции видеокамеры

5. Экспериментальные исследования

С целью определения возможности применения излучателей ближнего инфракрасного диапазона в качестве контрастных ориентиров был проведен ряд экспериментов. При этом использовались образцы наземного светотехнического оборудования разработки АО «КТ-Беспилотные системы» в варианте светодиодных маяков диапазона 0,85 мкм, мощностью светового потока 10 Вт, углом расходимости 30° и автономным питанием 12 В (рис. 6).



Рис. 6. Инфракрасный маркер IR-850

Проводились лабораторные исследования по оценке формируемого пятна при различных типах матриц, объективов, светофильтров и настроек видеокамеры в различных условиях освещенности, а также в условиях естественных и искусственных помех (рис. 7). С целью определения возможности применения указанных источников в задаче автоматической посадки БПЛА проведен летный эксперимент с заходом на морскую вертолетную посадочную площадку (рис. 8).

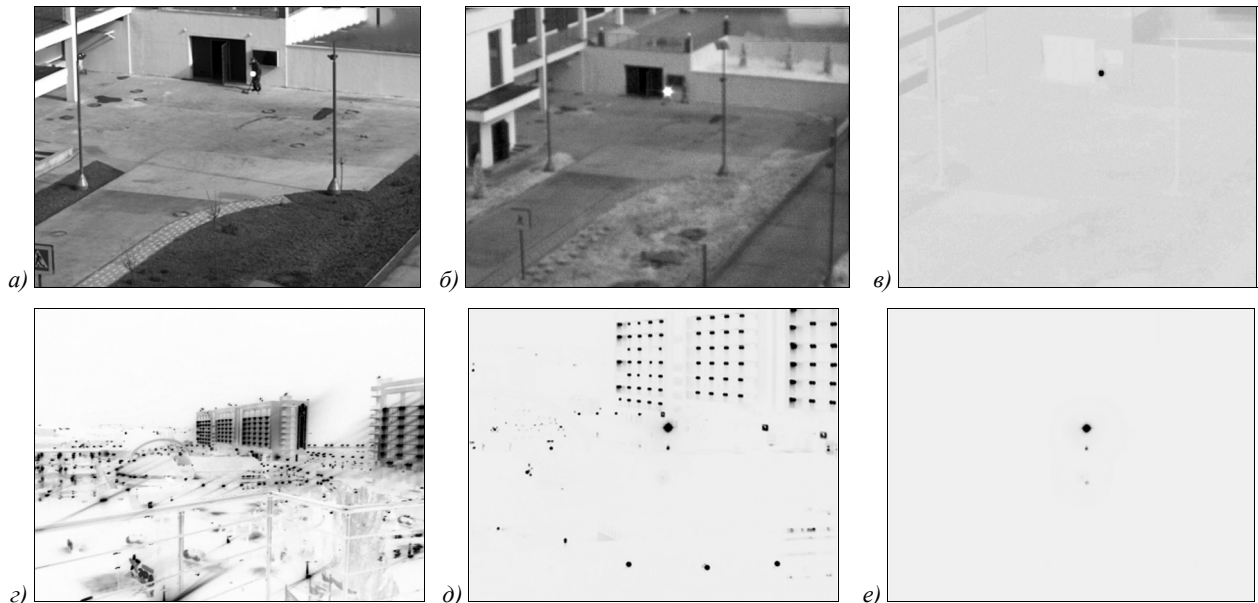


Рис. 7. Результаты лабораторных исследований: без светофильтра (а), со светофильтром (б), со светофильтром и регулировкой фотоэкспозиции (в) при дневных условиях в ясную погоду с наличием естественных помех (солнце), без светофильтра (г), со светофильтром (д), со светофильтром и регулировкой фотоэкспозиции (е) в ночных условиях, в дождь при наличии искусственных помех (внешнее освещение) (изображения в, г, д, е инвертированы)

Проведенные эксперименты показывают, что мощности излучения выбранного источника достаточно для определения координат как в ночных, так и в дневных условиях на расстоянии до 500 м в непрерывном режиме излучения.

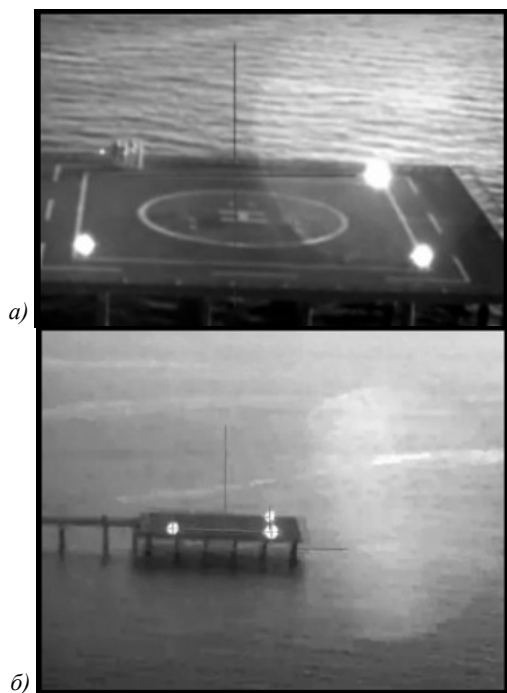


Рис. 8. Результаты лётного эксперимента – дальность до платформы 50 м (а) и 350 м (б)

Результаты исследования точностных характеристик определения координат в данной статье не рассматриваются.

Вероятностно-дальностные характеристики распознавания источников представлены на рис. 9.

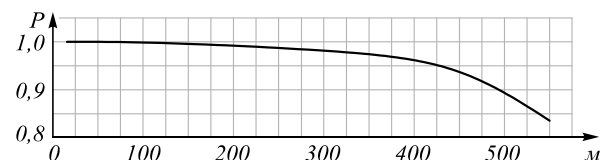


Рис. 9. Вероятностно-дальностные характеристики распознавания светодиодных маяков диапазона 0,85 мкм

Также проводились лабораторные эксперименты с полупроводниковым лазером SSP-DLN-1550 диапазона излучения 1,55 мкм, мощностью 20 Вт и углом расхожимости 3°.

В качестве приемника использовалась видекамера SWIR диапазона 0,9–1,7 мкм. Объектив видекамеры оснащался узкополосным светофильтром на длину волны 1,55 мкм. Исследовалась возможность передачи информации при импульсном режиме работы источника (рис. 10).

Полупроводниковый лазер кодировал информацию с частотой 5 Гц, частота затвора видекамеры – 30 кадров в секунду. Сообщение «Военный технополис ЭРА», кодированное с помощью азбуки Морзе, удалось передать за 15 с.

Заключение

В результате исследований обоснован выбор двух типов источников, способных применяться в оптических системах посадки беспилотных летательных аппаратов, и сформированы требования к ним.

Версия светодиодного маяка диапазона 0,85 мкм (промежуточный вариант) в сочетании с узкополосным интерференционным фильтром (0,85 мкм) для видекамеры оптического диапазона при мощности прожектора порядка 20 Вт может обеспечить устой-

чивый захват оптическими видеокамерами на дальности до 500 м. Достоинства: простота реализации, возможность использования штатных оптико-электронных систем видимого диапазона. Недостатки:

малая дальность действия, особенно при сложных погодных условиях. Целесообразно рассмотреть возможность импульсного режима работы такого прожектора, что значительно расширит возможности системы.

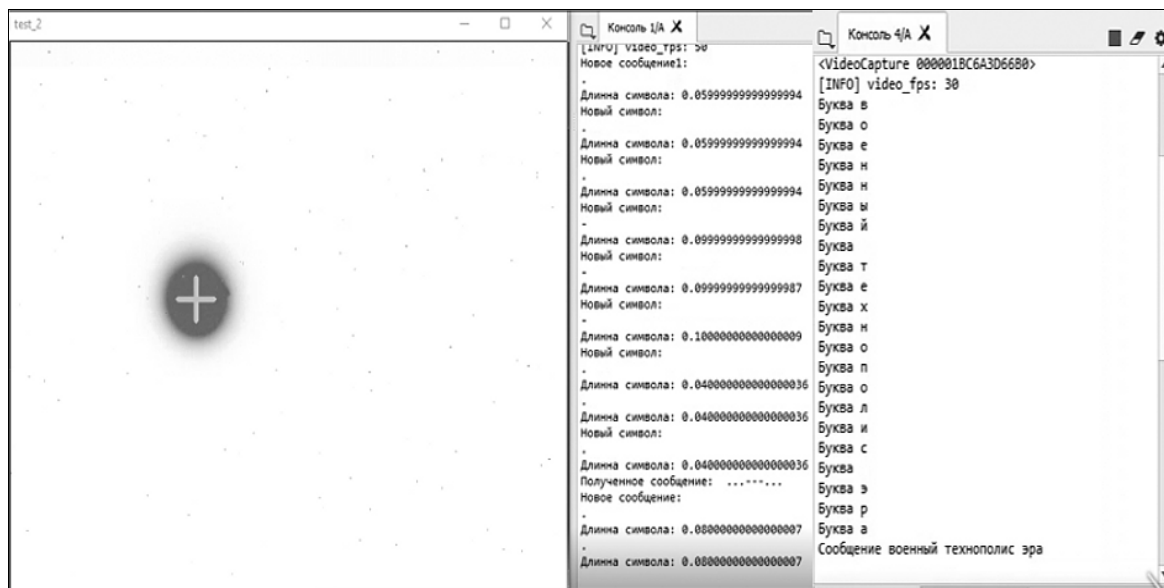


Рис. 10. Передача информации посредством системы технического зрения, кодированной в азбуке Морзе (изображение инвертировано)

Версия лазерного маяка диапазона 1,55 мкм (является желательным вариантом) с мощностью в импульсном режиме до 100 Вт позволит достигнуть значительной дальности захвата (5–10 км), обеспечить существенный динамический диапазон и, как следствие, работу в сложных метеоусловиях. Достоинства: работа в сложных метеорологических условиях, большая дальность в ясную погоду. Недостатки: работа только с камерами SWIR-диапазона.

Согласование времени импульса ориентира и времени фотоэкспозиции фотокамеры обеспечит наилучшее соотношение сигнал/помеха, т.е. можно ожидать, что система будет помехозащищенной, сможет работать против мощных источников, таких как прожектора, солнце и т.д.

Предложенные технические решения способны обеспечить создание унифицированной системы посадки БПЛА различного типа в автономном и помехозащищенном режиме на различные (в том числе подвижные) посадочные площадки (платформы). Реализация предложенных подходов при создании перспективных систем автоматической посадки позволит существенно расширить боевые возможности комплексов с беспилотными летательными аппаратами и повысить эффективность их применения.

References

[1] GOST R 51747-2001. Microwave radio beacon instrument approach landing system for air vehicles. Main parameters and methods of measuring [In Russian]. Moscow: "Gosstandart Rossii" Publisher; 2001.
 [2] Zhiharev VP, Zazerskij LK, Ershov GA, Krivoruchko YT. Problems of promising instrumental approach tools for air-

craft development [In Russian]. Radiopromyshlennost' 2015; 4: 107-118.
 [3] Bartenev VA, Grechkoseev AK, Kozorez DA. Modern and perspective informational global navigation satellite technologies in high-precision navigation tasks. Moscow: «Fizmatlit» Publisher; 2014.
 [4] OPATS. The laser-based automatic landing systems for UAVS. Source: (https://www.ruag.ch/sites/default/files/2021-03/210226_Factsheet_OPATS.pdf).
 [5] The Russian Federation has developed its own laser system for the automatic landing of UAVs LSOK. Source: (<https://en.topwar.ru/121261-v-rf-razrabotana-sobstvennaya-lazernaya-sistema-avtomaticheskoy-posadki-bespilotnikov-lsok.html>).
 [6] Logvin AI, Volkov AV. Algorithms for automatic recognition of an aerodrome on video images [In Russian]. Scientific Bulletin of MSTU GA 2015; 213: 115-117.
 [7] Fan YM, Ding M, Cao YF. Vision algorithms for fixed-wing unmanned aerial vehicle landing system. Sci China Technol Sci 2017; 60(3): 434-443.
 [8] Zhang L, Cheng Y, Zhai ZJ. Real-time accurate runway detection based on airborne multi-sensors fusion. Defence Sci J 2017; 67(5): 542-550.
 [9] Benini AJ, Rutherford M. Real-time, GPU-based pose estimation of a UAV for autonomous takeoff and landing. Proc Third Int IEEE Conf on Signal-Image Technologies and Internet-Based System 2007: 972-978.
 [10] Abu-Jbara K, Alheadary W, Sundaramorthi G, Claudel C. A robust vision-based runway detection and tracking algorithm for automatic UAV landing. Proc 2015 Int Conf on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) 2015: 1148-1157.
 [11] Ageev AM, Belyaev VV, Bondarev VG, Procenko VV. Automatic landing systems for unmanned aerial vehicles: problems and solutions [In Russian]. Voennaya Mysl' 2020; 4: 130-136.
 [12] Ageev AM, Bondarev VG, Ippolitov SV, Lopatkin DV, Ozerov EV, Protsenko VV, Fateev IA. Method of determining coordinates of an aircraft relative to an airstrip. Pat

- RF of Invent N 2706443 of November 19, 2019, Russian Bull of Inventions N32, 2019.
- [13] Ageev AM, Bondarev VG, Procenko VV. Infrared local navigation system of unmanned aerial vehicles for automation of the landing mode [In Russian]. Proc 30th Int Symp on Transmission, Reception, Processing and Display of Information About Fast Processes, Moscow 2019: 32-37.
- [14] Koval SA. Analysis of the possibilities of organizing communication in the field area using atmospheric optical communication lines [In Russian]. Proc 1th Int Symp Engineering Sciences: Tradition and Innovation, Chelyabinsk 2012: 17-20.
- [15] Gui Y. Airborne vision-based navigation method for UAV accuracy landing using infrared lamps. J Intell Robot Syst 2013; 72: 197-218.
- [16] Yakushenkov YuG. Theory and calculation of optoelectronic devices textbook for universities [In Russian]. Moscow: "Logos" Publisher; 2012.
- [17] Abakumov AV, Kuz'menko IK, Livshic DYU, Sergushov IV, Slonov VN. Automatic landing system for unmanned aerial vehicles using laser emitters [In Russian]. Proc 29th Int Symp on Mathematical Methods in Engineering and Technology, Saratov 2016: 130-132.

Сведения об авторах

Агеев Андрей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, 1983 года рождения, в 2005 году окончил Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище по специальности «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов», работает начальником отдела научно-исследовательского – заместителем начальника управления научно-исследовательского. Область научных интересов: системы управления и навигации беспилотных летательных аппаратов, повышение надежности в избыточных резервированных комплексах бортового оборудования, системы технического зрения в задачах управления и навигации летательных аппаратов. E-mail: ageev_bbc@mail.ru.

Бондарев Валерий Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, 1952 года рождения, в 1987 году окончил Рижское высшее военное авиационное инженерное училище по специальности «Автоматическое, электро- и приборное оборудование летательных аппаратов», работает старшим научным сотрудником отдела научно-исследовательского. Область научных интересов: системы управления и навигации беспилотных летательных аппаратов, системы технического зрения в задачах управления и навигации летательных аппаратов. E-mail: bondarevstis@mail.ru.

Проценко Виталий Владимирович, 1993 года рождения, в 2015 году окончил Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», в настоящий момент является адъюнктом ВУНЦ ВВС «ВВА». Область научных интересов: системы управления и навигации беспилотных летательных аппаратов, системы технического зрения в задачах управления и навигации летательных аппаратов, системы автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов. E-mail: vitalyprotsenko1993@gmail.com.

ГРНТИ: 29.31.29

Поступила в редакцию 5 февраля 2021 г. Окончательный вариант – 19 августа 2021 г.

Justification of the choice of radiation sources for a computer vision system in the problem of automatic landing of unmanned aerial vehicles

A.M. Ageev¹, V.G. Bondarev¹, V.V. Protsenko¹

¹ Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education "Military Educational and Scientific Centre of the Air Force of N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, 394064, Voronezh, Russia, Staryh Bolshevikov 54a

Abstract

An expedient spectral range of radiation sources for use in the automatic landing system of unmanned aerial vehicles has been substantiated. A method is proposed for synchronizing the photoexposure of the computer vision system and radiation from landmarks for the unambiguous determination of their mutual position. Results of the experimental studies are presented.

Keywords: unmanned aerial vehicle, landing system, infrared range, contrast reference point, laser radiation, pulse mode.

Citation: Ageev AM, Bondarev VG, Protsenko VV. Justification of the choice of radiation sources for a computer vision system in the problem of automatic landing of unmanned aerial vehicles. *Computer Optics* 2022; 46(2): 239-245. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-875.

Authors' information

Andrej Mihajlovich Ageev, (b. 1983) PhD in Technology, Head of Research and Development department at the Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation. Research interests are control and navigation systems of unmanned aerial vehicles, increasing reliability in redundant redundant complexes of on-board equipment, technical vision systems in the tasks of control and navigation of aircraft. E-mail: ageev_bbc@mail.ru.

Valerij Georgievich Bondarev, (b. 1952), PhD in Technology, professor of the department at the Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation. Research interests: control and navigation systems of unmanned aerial vehicles, technical vision systems in the tasks of control and navigation of aircraft. E-mail: bondarevstis@mail.ru.

Vitalij Vladimirovich Protsenko, (b. 1993), PhD student at the Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation. Research interests: control and navigation systems of unmanned aerial vehicles, technical vision systems in the tasks of control and navigation of aircraft, automatic landing systems of unmanned aerial vehicles. E-mail: vitalyprotsenko1993@gmail.com.

Received February 5, 2021. The final version – August 19, 2021.