

Метод и алгоритм выделения динамических объектов с подвижной платформы из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара

И.Е. Чернецкая¹, С.В. Спевачева¹ ✉, Д.В. Применко¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: sspev@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. В современных автоматических системах сбора информации все чаще используются автономные мобильные устройства, данные с которых могут быть получены в опасных для здоровья человека условиях с территориально удаленных мест, в сложной метеорологической обстановке, в режиме круглосуточного наблюдения. Для автономной работы подобных устройств необходимо использовать методы и алгоритмы, позволяющие строить карту местности, осуществлять привязку мобильной платформы на ней, определять маршрут к целевой точке, выделять препятствия на маршруте следования, производить корректировку маршрута с учетом обнаруженных препятствий.

Методы. В статье предложен метод и алгоритм выделения динамических объектов с подвижной платформы, основанный на анализе данных, полученных от мультиспектральной камеры, что позволяет осуществлять выделение препятствий, таких, как водные, растительного происхождения, техногенного характера и т.д. со снижением вычислительной сложности. Для повышения точности определения координат обнаруженных объектов используется лазерный дальномер.

Результаты. Рассмотрены известные методы распознавания мультиспектральных изображений, приведен их сравнительный анализ. Предложен метод и алгоритм выделения динамических объектов с подвижной платформы из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара. Проведены экспериментальные исследования, позволяющие подтвердить адекватность математического обоснования метода, снизить погрешность вычисления координат объекта, на удалении до 100 метров до объекта, RMSE - 0,447%, MAPE - 0,397, повысить быстродействие, на выделение объекта и определение его координат было затрачено 0,04 секунды.

Заключение. В статье проведен анализ современных методов распознавания мультиспектральных изображений, представлены принципы, на которых основан каждый метод, приведены достоинства и недостатки. Разработан метод и алгоритм, позволяющие выделять статические и динамические препятствия на маршруте следования подвижной платформы, по последовательности изображений, полученных в разных спектральных диапазонах. В ходе экспериментальных исследований, подтверждены работоспособность предложенных решений и соответствие заданным требованиям точности и достоверности.

Ключевые слова: алгоритм; метод; мультиспектральный; подвижная платформа; анализ изображений; динамические объекты.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Черneckая И.Е., Спевакoва С.В., Применко Д.В. Метод и алгоритм выделения динамических объектов с подвижной платформы из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(3): 121-136. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-3-121-136>.

Поступила в редакцию 27.04.2020

Подписана в печать 08.06.2020

Опубликована 30.06.2020

Method and Algorithm for Recognition Dynamic Objects from a Mobile Platform, from Images Obtained in Different Spectral Ranges and Lidar Data

Irina E. Cherneckaya¹, Svetlana V. Spevakova¹ ✉, Dmitry V. Primenko¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: sspev@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. In modern automatic information collection systems, autonomous mobile devices are increasingly used, data from which can be obtained in conditions hazardous to human health, from geographically remote places, in difficult meteorological conditions and in round-the-clock observation mode. For the autonomous operation of such devices, it is necessary to use methods and algorithms that allow you to build a map of the area, link a mobile platform to it, determine a route to a target point, highlight obstacles along the route and correct the route taking into account detected obstacles.

Methods. The article proposes a method and an algorithm for the selection of dynamic objects from a mobile platform, based on the analysis of data obtained from a multispectral camera, which allows the selection of obstacles, such as water, plant origin, technogenic nature, etc. with reduced computational complexity. To improve the accuracy of determining the coordinates of detected objects, a laser rangefinder is used.

Results. We consider the well-known methods of multispectral images recognition and present their comparative analysis. A method and an algorithm for recognition dynamic objects from a mobile platform, from images obtained in different spectral ranges and lidar data are proposed. Experimental studies were carried out to confirm the adequacy of the mathematical substantiation of the method, to reduce the error in calculating the coordinates of the object, at a distance of up to 100 meters to the object, RMSE - 0.447%, MAPE - 0.397, to increase the performance, it took 0, 04 seconds to select the object and determine its coordinates.

Conclusion. The article analyzes modern methods for recognizing multispectral images, presents the principles on which each method is based, gives advantages and disadvantages. The authors have developed a method and an algorithm that make it possible to identify static and dynamic obstacles along the route of a mobile platform, based on a sequence of images obtained in different spectral ranges. In the course of experimental studies, the performance of the proposed solutions and compliance with the specified requirements for accuracy and reliability were confirmed.

Keywords: algorithm; method; multispectral; movable platform; image analysis; dynamic objects.

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Cherneckaya I. E., Spevakova S. V., Primenko D. V. Method and Algorithm for Recognition Dynamic Objects from a Mobile Platform, from Images Obtained in Different Spectral Ranges and Lidar Data // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(3): 121-136 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-3-121-136>.

Received 27.04.2020

Accepted 08.06.2020

Published 30.06.2020

Введение

Особое место в использовании оптико-электронных устройств (ОЭУ) занимает задача построения маршрута и управления ориентацией автономной мобильной платформой (АМП) в постоянно меняющихся условиях наблюдения [1]. Так как в процессе движения, во входных данных устройства управления АМП присутствует неопределенность за счет расположения окружающих объектов как динамических, так и стационарных, сложности ландшафта, погодных явлений. Такие устройства должны обеспечивать функционирование в автоматическом режиме без постоянного присутствия человека [2].

Одной из задач является построение устройства управления автономной мобильной платформой для экологического мониторинга [3]. Такие платформы могут применяться в условиях, опасных для здоровья человека, как при анализе радиационной, химической, бактериологической загрязненности, так и при круглосуточном мониторинге территориально удаленных мест. Но функционирование данных устройств подразумевает использование их на не подготовленных заранее территориях, со сложным ландшафтом, наличием преград, как времен-

ных, так и постоянных. Точки сбора материалов для анализов могут быть не обеспечены подъездными путями с наличием разметки [4].

Объектом исследования является модель выделения движущихся в пространстве объектов с подвижной системой технического зрения, по последовательности изображений, полученных в различных спектральных диапазонах.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы выделения объектов, движущихся в пространстве.

Целью работы является анализ современных методов выделения движущихся в пространстве объектов и создание метода и алгоритма, позволяющего вести наблюдение с подвижной системы технического зрения, являющейся адаптивной к изменяющимся условиям наблюдения.

Постановка задачи

Обработка данных в современных ОЭУ основывается на информации, полученной от оптико-электронного датчика, методах и алгоритмах анализа изображения, критериях оценки качества функционирования устройства и обусловлена, обычно, наблюдением в заданном спектральном диапазоне длин

волн от ультрафиолетового до инфракрасного, что не всегда позволяет обеспечить необходимое качество для решения задач распознавания сложных, многокомпонентных изображений. Поэтому для повышения качества распознавания объектов изображения и возможности работы устройства при различных внешних помехах необходимо применять мультиспектральные датчики, позволяющие получать изображения в нескольких спектральных диапазонах.

В связи с вышеизложенным, актуальной научно-технической задачей является разработка метода и алгоритма выделения динамических объектов с подвижной платформы, из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара.

Решению задачи построения карты маршрута мобильного робота с одновременной локализацией посвящены работы ученых Д.А. Барамия, С.В. Манько, W. Hess, В.Е. Павловский, Guolai Jiang и других.

Обычно анализ мультиспектральных изображений включает в себя: фильтрацию, сегментацию и распознавание. Процесс выделения динамических объектов с подвижной платформы сопряжен с процессом их распознавания [5,6]. При решении современных задач построения карты пространства, структура которого заранее неизвестна, и одновременного определения позиции робота в нем (SLAM) все чаще используются комбинированные системы, использующие ла-

зерные дальномеры и оптико-электронные датчики. В отличие от лидарных SLAM и визуальных SLAM, комбинированные системы сложны в реализации, так как необходимо сопоставить полученную точку по нескольким каналам, визуальным и оценки дальности.

Большинство методов, существующих на сегодняшний день, используют одинаковый подход для решения задачи SLAM. Он основан на вероятностном методе, который базируется на теореме Байеса, обычно в этом случае выполняется оценка положения робота, с помощью цикла предсказаний и коррекции. Этот цикл заключается в том, что по некоторым данным внутренних сенсоров мы делаем предположение о новой позиции робота, а затем уточняем с помощью некоторых внешних измерений.

Все множество SLAM алгоритмов можно разделить на классы по типу входных данных:

- 1) лазерный сканер и одометрия, LiDAR-SLAM;
- 2) камера и одометрия, Visual-SLAM;
- 3) стереокамера или RGB-D камера;
- 4) сенсор магнитного поля.

Так, например, достаточно распространены SLAM методы, которые используют в качестве входных данных одометрию и данные лидаров, чаще всего эти методы, основанные на фильтре частиц (FastSLAM, DP-SLAM, HectoSLAM, GMapping). Кроме этого, существуют методы, которые используют для построе-

ния карты оптико-электронные датчики (ОЭД), как монокулярные, так и стерео или RGB-D. Такие SLAM алгоритмы называются VisualSLAM или vSLAM. Кроме этого бывают SLAM алгоритмы, которые используют такие сенсоры, как сенсор магнитного поля, но их очень мало, но тем не менее, они существуют и применяются на практике.

Визуальные SLAM были построены на методе Mono-SLAM [7], основанном на расширенном фильтре Калмана, который оценивает вектор состояния динамической системы, используя серию неполных и зашумленных измерений.

Несмотря на все свои преимущества, Mono-SLAM имеет ограничения на количество используемых ориентиров в системе. Связанно это с тем, что при появлении новых элементов в наблюдении они добавляются в вектор состояния. Таким образом, шум ковариационной матрицы растет квадратично, что приводит к увеличению времени обработки.

Методы, основанные на использовании RGB-D камер, используют информацию как о цвете, так и о глубине в своем поле зрения. Так известен метод Kinect fusion [8], который использует изображения глубины, и получает данные от датчика Kinect, для формирования глобальной неявной поверхностной модели наблюдаемой сцены в реальном времени, далее после измерения минимального расстояния каждого пикселя в каждом кадре и объединения

всех изображений глубины, формируется глобальная картографическая информация сцены.

Недостатком метода является небольшой размер анализируемой сцены наблюдения, в пределах двух метров, и накопление погрешности измерения.

В настоящее время наиболее часто используются системы с вспомогательными датчиками энкодерами и инерциальными измерительными блоками, которые могут предоставлять дополнительные данные о движении робота [9-10]. Наиболее перспективным решением, являются системы с использованием ОЭД, работающих в различных спектральных диапазонах. Для обработки поступающей от таких датчиков информации используются методы распознавания мультиспектральных изображений [11-13].

Так известен метод распознавания, основанный на морфологических преобразованиях. Сущность метода заключается в формировании некоего класса, определяющего морфологические признаки, относящиеся к объекту, и не зависящего от условий, в которых происходит инициализация мультиспектрального изображения.

На первом шаге формируется результирующая нулевая поверхность определенного размера. Далее входная информация об мультиспектральном изображении подвергается попиксельной обработке. В процессе анализа используются различные морфологические опе-

раторы, позволяющие проводить анализ изображения.

Работа рассмотренного выше метода основана на следующих этапах:

1. Формирование массива данных из исходного изображения.
2. Обработка массива путем перемещения окна свертки относительно входящего изображения.
3. Определение максимума и минимума интенсивности пикселя для каждого состояния.

Рассмотренный метод имеет следующие недостатки: выбор размера структурирующего элемента осуществляется путем перебора множества значений, что ведет к увеличению вычислительной сложности.

Одним из самых быстродействующих методов распознавания мультиспектральных изображений является метод распознавания по цвету [14-16]. Выделение объектов осуществляется по признакам, характеризующимся цветом в одном из пространств, что позволяет обеспечить высокую точность и достоверность поиска распознаваемого объекта. Недостатком данного метода является высокое снижение достоверности и точности распознавания при окраске объекта множеством цветов.

На основе анализа научных работ было выявлено, что работы представленных ученых недостаточно освещают использование информации от датчиков, работающих в различных спектральных диапазонах, при проектиро-

вании устройств управления автономными мобильными платформами. Что позволило сформулировать основные задачи и цель работы.

Анализ современных методов и алгоритмов обработки мультиспектральных изображений показал наличие целого ряда ограничений при использовании их для анализа движущихся и пересекающихся объектов. Исходя из этого необходимо разработать универсальный метод и алгоритм для выделения динамических объектов с подвижной платформы из изображений, полученных в различных спектральных диапазонах.

Материалы и методы

Предложенный метод выделения динамических объектов с подвижной платформы, из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара, включает: фильтрацию изображений от случайных и систематических помех, формирование мультиспектрального изображения, объединенного из нескольких, полученных в разных спектральных зонах, выделение пространственных объектов за счет разностных характеристик спектральных изображений, корректировку оценки дальности обнаруженных объектов с учетом данных, полученных от лидара, вычисление трехмерных координат объектов сцены с учетом перемещения подвижной платформы, уточнения собственного положения и динамической

калибровки мультиспектрального оптико-электронного устройства.

Отличительной новизной метода является:

- обработка изображений, полученных в разных спектральных диапазонах, что позволяет выделить объекты сцены с минимальным количеством вычислительных ресурсов;

- вычисление трехмерных координат геометрических центров и размеров выделенных объектов с использованием данных от лидара, что позволяет повысить точность вычислений для объектов, находящихся на различном удалении от мобильного оптико-электронного устройства (МОЭУ);

- введение функции первоначальной калибровки, по эталонному объекту с источниками излучения, работающих в различных спектральных диапазонах от ультрафиолетового до инфракрасного, что позволяет снизить погрешности измерений трехмерных координат объектов;

- использование при локализации данных мультиспектрального датчика и лидара позволяет снизить значение накопленной ошибки за весь маршрут следования.

Алгоритм выделения пространственных объектов и вычисления трехмерных координат их геометрического центра и размеров (рис.1) заключается в выполнении следующих операций: ввод

и предобработка данных от мультиспектральных оптико-электронных датчиков (блоки 1 – 2), формирование мультиспектрального изображения (блок 3), блок-схема данного блока подробно представлена на рис. 2, выделения объектов изображения (блок 6), вычисление трехмерных координат выделенных объектов (блоки 7 – 9), выполнения калибровки МОЭУ (блоки 10 – 15).

Алгоритм управления подвижной платформой позволяет повысить точность пространственной привязки, в условиях динамически меняющейся обстановки, за счет корректировки исходного маршрута, сформированного с помощью систем позиционирования, с учетом обнаруженных препятствий.

Новизна предложенных алгоритмов заключается в формировании предварительно сжатого, квантованного, мультиспектрального изображения из последовательности изображений, полученных от мультиспектрального оптико-электронного датчика, что позволяет снизить вычислительные затраты при выделении объектов сцены, в повышении точности расчета трехмерных координат геометрических центров объектов и их размеров за счет корректировки оценки дальности, в повышении точности пространственной привязки подвижной платформы и корректировки исходного маршрута, с учетом обнаруженных препятствий.

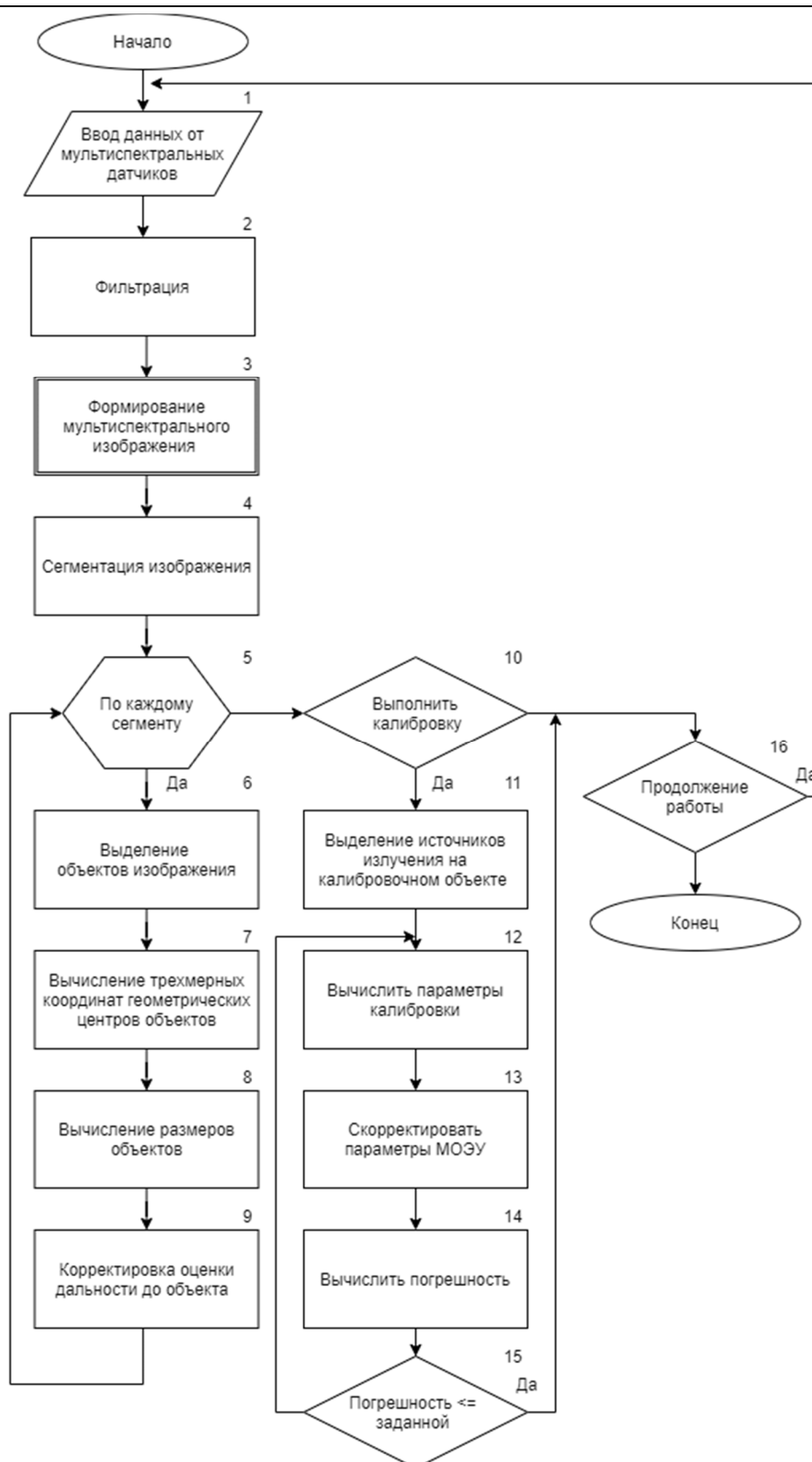


Рис. 1. Алгоритм выделения динамических объектов с подвижной платформы из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара

Fig. 1. Algorithm for recognition dynamic objects from a mobile platform, from images obtained in different spectral ranges and lidar data



Рис.2. Алгоритм формирования мультиспектрального изображения

Fig. 2. Algorithm for forming a multispectral image

Результаты и их обсуждение

Для подтверждения адекватности разработанной математической модели был разработан программный модуль, в соответствии с предложенными алгоритмами, представленными на рис. 1-2. Входные данные для программного модуля были получены с подвижной платформы, оснащенной мультиспектральной камерой и лидаром [17]. В ходе эксперимента было смоделировано движение объекта на удалении от 10 до 100 метров от подвижной платформы наблюдения. При этом движение объектов было прямолинейным и равномерным, с априори известным местоположением эталонных объектов. Траектории движения платформы и наблюдаемого объекта пересекались под определенным углом, угол в рамках одного экспери-

мента был постоянен. Данные от мультиспектральной камеры и лидара передавались в персональную ЭВМ, синхронизировались и в виде последовательностей кадров поступали в программный модуль для дальнейшего анализа [18,19].

Данные, полученные в ходе эксперимента, о количестве выделенных объектов, их трехмерных координатах, координатах уточненного маршрута использовались для сравнительного анализа с известной моделью 2.5D map with LiDAR and Camera [10], оценки погрешности вычислений и представлены в табл. 1.

На рис. 3, 4 представлены экспериментальные и расчетные зависимости характеристик разработанного устройства.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

Table 1. The results of experimental studies

Параметр / Parameter	2.5D map with LiDAR and Camera	Предложенный метод / Proposed method
Среднеквадратическое отклонение позиционирования RMSE (%): – дальность до 10 м; – дальность 100 м	0,187 0,521	0,328 0,447
Средняя абсолютная ошибка позиционирования MAPE (%): – дальность до 10 м; – дальность 100 м	0,169 0,467	0,289 0,397
Достоверность выделения динамического объекта на удалении до 100 м: – один объект; – несколько объектов; – один объект с помехой; – несколько объектов с помехой	0,95 0,95 - -	0,98 0,95 0,95 0,80
Время обнаружения объекта и вычисления его координат, с	6,6	0,04

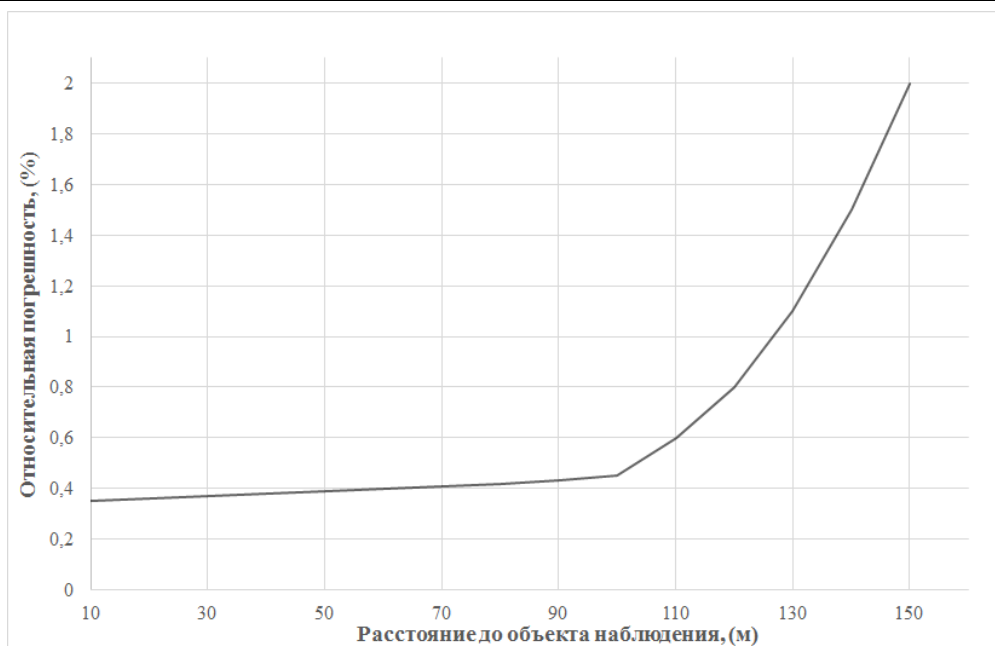


Рис. 3. График относительной погрешности вычисления координат объектов

Fig. 3. Graph of relative error in calculating the coordinates of objects

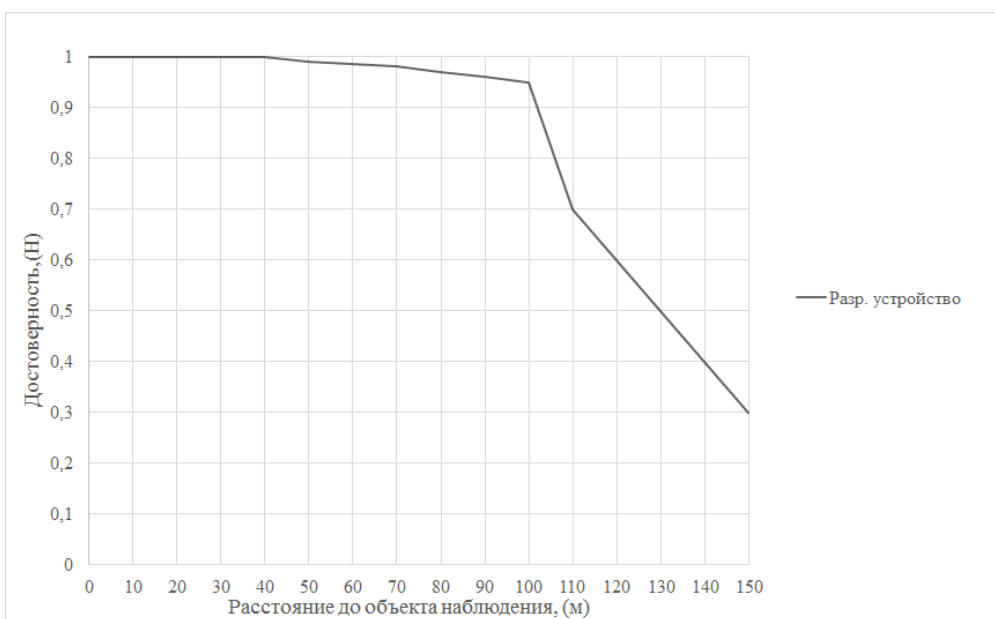


Рис. 4. График зависимости достоверности выделения объектов от расстояния

Fig. 4. Graph of the dependence of the accuracy of object selection on distance

В ходе эксперимента проведены исследования предложенного метода и алгоритма, в различных условиях и на разном удалении выделяемого объекта от подвижной платформы с системой

технического зрения. Полученные данные позволяют оценить соответствие погрешности определения координат наблюдаемого объекта расчетным и экспериментальным путем. Анализ резуль-

татов экспериментальных исследований и математического моделирования подтвердил адекватность разработанных метода и алгоритма и определяет трехмерные координаты объектов с погрешностью, на удалении до 10 м – 0,35 %, на удалении 100 м - 0,45%. Достоверность выделенного объекта, на расстоянии до 100 м включительно, находится в пределах 0,95, на удалении свыше 100 метров достоверность снижается, это обусловлено дальностью действия лидара. При сравнении с аналогичным решением [3], можно сделать вывод, что на удалении до 100 метров, предложенный метод имеет на 16% ниже среднюю абсолютную погрешность позиционирования, по сравнению с аналогичным способом. За счет использования мультиспектральных оптико-электронных датчиков временные затраты на обнаружение объекта и вычисления его координат значительно снизились, предложенный метод затратил 0,04 секунды, прямому аналогу понадобилось 6,6 секунды.

Выводы

Предложенный метод и алгоритм позволяет определить координаты ди-

намических объектов с подвижных оснований систем технического зрения.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что предложен метод и алгоритм выделения динамических объектов с подвижной платформы, из изображений, полученных в разных спектральных диапазонах и данных лидара, позволяющий автоматически выделять движущиеся объекты, определять их трёхмерные координаты с заданной точностью, адаптироваться к изменяющимся условиям наблюдения.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что в ходе экспериментальных исследований подтверждена адекватность предложенного метода и алгоритма. Результаты эксперимента позволяют рекомендовать предложенный метод для построения мобильных автоматических систем слежения и идентификации объектов.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в изучении возможности реализации данного метода на программно-аппаратном комплексе, позволяющем повысить точность выделения объектов.

Список литературы

1. Хафизов Р. Г., Охотников С. А. Распознавание непрерывных комплекснозначных контуров изображений // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. Т. 55. №. 5.
2. Дегтярев С.В., Спесваков А.Г., Типикин А.П. Определение координат движущихся объектов стереоскопической системой технического зрения // Телекоммуникации. 2004. № 8. С. 35 -36.

3. Шибакина Т. А., Спесов А. Г. Стереоскопическая оптико-электронная система определения параметров динамических объектов в реальном времени // Датчики и системы. 2004. № 6. С. 65-67.
4. Спесова С. В. Построение маршрута мобильного робота на основе анализа мультиспектральных данных // Интеллектуальные и информационные системы. Интеллект-2019. Тула, 2019. С. 334-337.
5. Спесов А. Г., Рубанов А. Ф. Стереоскопическая оптико-электронная система слежения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2005. Т. 48. № 2. С. 62-67.
6. Спесов А. Г. Метод выделения движущихся объектов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 1. С. 233-237.
7. Davison A. J. et al. MonoSLAM: Real-time single camera SLAM // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2007. Т. 29. № 6. P. 1052-1067.
8. Newcombe R. A. et al. KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking // 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE, 2011. P. 127-136.
9. Kerl C., Sturm J., Cremers D. Dense visual SLAM for RGB-D cameras. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Chicago, IL, USA, 14–18 September 2014. P. 2100–2106.
10. Jiang G. et al. A simultaneous localization and mapping (SLAM) framework for 2.5 D map building based on low-cost LiDAR and vision fusion // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. № 10. P. 2105.
11. Антюфеев В. И., Быков В. Н. Сравнительный анализ алгоритмов совмещения изображений в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов // Авиационно-космическая техника и технология. 2008. № 1. С. 70-78.
12. Зубарев Ю.Б., Сагдуллаев Ю.С., Сагдуллаев Т.Ю. Спектрально-аналитические методы и системы в космическом телевидении // Вопросы радиоэлектроники. Серия техника телевидения. 2009. Вып. 1. С. 47–64.
13. Бондаренко М. А., Дрынкин В. Н. Оценка информативности комбинированных изображений в мультиспектральных системах технического зрения // Программные системы и вычислительные методы. 2016. № 1. С. 64-79.
14. Krishnamoorthy S., Soman K. P. Implementation and comparative study of image fusion algorithms // International Journal of Computer Applications. 2010. Vol. 9. № 2. P. 25-35.
15. Калущий И.В., Матюшин Ю.С., Спесова С.В. Анализ современных статических методов биометрической идентификации // Известия Юго-Западного государ-

ственного университета. 2019. Т. 23, № 1. С. 84-94. [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2019-23-1-84-94](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-1-84-94).

16. Бехтин Ю. С., Емельянов С. Г., Титов Д. В. Теоретические основы цифровой обработки изображений встраиваемых оптико-электронных систем. Курск, 2016.

17. Пат. 2714603 Российская Федерация. Подвижное стереоскопическое устройство выделения динамических объектов / Спесакова С.В., Калущкий И.В.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет». №2018147106; опубл. 18.02.2020, Бюл. №5.

18. Spevakova S. V., Matiushin I. S., Spevakov A. G. Detecting objects moving in space from a mobile vision system // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2019. № 4. P. 103-110.

19. Kalutskiy I., Spevakova S., Matiushin I. Method of Moving Object Detection from Mobile Vision System // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE, 2019. P. 1-5.

References

1. Hafizov R. G., Okhotnikov S. A. Raspoznavanie nepreryvnykh kompleksnoznachnykh konturov izobrazhenii [Recognition of continuous complex-valued image contours]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie = News of higher educational institutions. Priborostroenie*, 2012, vol. 55, no. 5 (In Russ.).

2. Degtyarev S. V., Spevakov A. G., Tipikin A. P. Opredelenie koordinat dvizhushchikhsya ob"ektov stereoskopicheskoi sistemoi tekhnicheskogo zreniya [Determination of coordinates of moving objects by the stereoscopic system of technical vision]. *Telekommunikatsii = Telecommunications*, 2004, no. 8, pp. 35 -36 (In Russ.).

3. Shirabakina T. A., Spevakov A. G. Stereoskopicheskaya optiko-elektronnaya sistema opredeleniya parametrov dinamicheskikh ob"ektov v real'nom vremeni [Stereoscopic optical-electronic system for determining parameters of dynamic objects in real time]. *Datchiki i sistemy = Sensors and Systems*, 2004, no. 6, pp. 65-67 (In Russ.).

4. Spevakova S. V. [The route of a mobile robot based on the analysis of multispectral data, in the collection: intelligent and information systems]. *Intellektual'nye i informatsionnye sistemy. Intellekt-2019* [Intellect-2019 Proceedings of the all-Russian scientific and technical conference]. Tula, 2019, pp. 334-337 (In Russ.).

5. Spevakov A. G., Rubanov A. F. Stereoskopicheskaya optiko-elektronnaya sistema slezheniya [Stereoscopic optical-electronic tracking system]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie = News of Higher Educational Institutions. Priborostroenie*, 2005, vol. 48, no. 2, pp. 62-67 (In Russ.).

6. Spevakov A. G. Metod vydeleniya dvizhushchikhsya ob"ektov [Method of selection of moving objects]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 1, pp. 233-237 (In Russ.).
7. Davison A. J. et al. MonoSLAM: Real-time single camera SLAM. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2007, vol. 29, no. 6, pp. 1052-1067.
8. Newcombe R. A. et al. KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking. *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, IEEE*, 2011, pp. 127-136.
9. Kerl C., Sturm J., Cremers D. Dense visual SLAM for RGB-D cameras. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Chicago, IL, USA, 14–18 September 2014, pp. 2100–2106.
10. Jiang G. et al. A simultaneous localization and mapping (SLAM) framework for 2.5 D map building based on low-cost LiDAR and vision fusion. *Applied Sciences*, 2019, vol. 9, no. 10, pp. 2105.
11. Antyufeev V. I., Bykov V. N. Sravnitel'nyi analiz algoritmov sovmeshcheniya izobrazhenii v korrelyatsionno-ekstremal'nykh sistemakh navigatsii letatel'nykh apparatov [Comparative analysis of image matching algorithms in correlation-extreme navigation systems of aircraft]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya = Aviation and Space Technology and Technology*, 2008, no. 1, pp. 70-78 (In Russ.).
12. Zubarev I. B., Sagdullaev I. S., Sagdullaev T. I. Spektrozonol'nye metody i sistemy v kosmicheskom televidenii [Spectrosonal methods and systems in space television]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya tekhnika televideniya = Questions of Radio Electronics. TV Technique Series*, 2009, is. 1, pp. 47-64 (In Russ.).
13. Bondarenko M. A., Drinkin V. N. Otsenka informativnosti kombinirovannykh izobrazhenii v mul'tispektral'nykh sistemakh tekhnicheskogo zreniya [Evaluation of the information content of combined images in multispectral systems of technical vision]. *Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody = Software Systems and Computational Methods*, 2016, no. 1, pp. 64-79 (In Russ.).
14. Krishnamoorthy S., Soman K. P. Implementation and comparative study of image fusion algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 2010, vol. 9, no. 2, pp. 25-35 (In Russ.).
15. Kaluutsky I. V., Matyushin Yu. S., Spevakova S. V. Analysis of Modern Static Methods of Biometric Identification. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019; 23 (1): pp. 84-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-1-84-94>.

16. Bekhtin Yu. S., Emelyanov S. G., Titov D. V. *Teoreticheskie osnovy tsifrovoi obrabotki izobrazhenii vstraivaemykh optiko-elektronnykh sistem* [Theoretical bases of digital image processing of embedded optical-electronic systems]. Kursk, 2016 (In Russ.).

17. Spevakova S. V., Kalutsky I. V. *Podvizhnoe stereoskopicheskoe ustroystvo vydeleniya dinamicheskikh ob"ektov* [Mobile stereoscopic device for selecting dynamic objects]. Patent RF, no. 2018147106, 23.01.2020. (In Russ.).

18. Spevakova S. V., Matiushin I. S., Spevakov A. G. Detecting objects moving in space from a mobile vision system. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2019, no. 4, pp. 103-110.

19. Kalutskiy I., Spevakova S., Matiushin I. Method of Moving Object Detection from Mobile Vision System. *International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*. IEEE, 2019, pp. 1-5.

Информация об авторах / Information about the Authors

Чернецкая Ирина Евгеньевна, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: white731@yandex.ru

Irina E. Cherneckaya, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Computer Science, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: white731@yandex.ru

Спевакова Светлана Викторовна, аспирант кафедры вычислительной техники, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sspev@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1271-1275>

Svetlana V. Spevakova, Post-Graduate Student of the Department of Computer Science, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sspev@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1271-1275>

Применко Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры вычислительной техники, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dima-primenko777@yandex.ru

Dmitry V. Primenko, Post-Graduate Student, of the Department of Computer Science, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dima-primenko777@yandex.ru