Роботизированные комплексы и системы. Технологии дистанционного зондирования и неразрушающего контроля

Multiple robots (robotic centers) and systems. Remote sensing and non-destructive testing

УДК 004.896, 004.93'1, 656.052.1 https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-15-23



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

# Алгоритмическое обеспечение системы внешнего наблюдения и маршрутизации автономных мобильных роботов

#### М.В. Егорцев <sup>®</sup>, С.А.К. Диане, Н.Д. Кац

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия <sup>®</sup> Автор для переписки, e-mail: maksimegortsev1@gmail.com

Резюме. В статье представлено алгоритмическое обеспечение системы внешнего наблюдения и маршрутизации автономных мобильных роботов. В ряде случаев практическое применение мобильных роботов сопряжено с решением задач навигации. В частности, положение наземных роботов может определяться за счет применения средств видеонаблюдения, закрепляемых на неподвижном основании или же на борту сопровождающих беспилотных летательных аппаратов. В предлагаемом к рассмотрению подходе по видеоизображению, получаемому с внешней видеокамеры, расположенной над рабочей зоной мобильных роботов, распознается местоположение как роботов, так и расположенных поблизости препятствий. Строится оптимальный маршрут до целевой точки выбранного робота и отслеживаются изменения его рабочей зоны. Информация о допустимых маршрутах робота передается в сторонние приложения по каналам сетевой связи. Первичная обработка изображения с камеры включает коррекцию дисторсии, оконтуривание и бинаризацию, что позволяет отделить фрагменты изображения, содержащие роботов и препятствия от фоновых поверхностей и предметов. Распознавание роботов на видеокадре основано на применении SURF детектора. Данная технология выделяет ключевые точки на видеокадре в сопоставлении их с ключевыми точками эталонных изображений роботов. Планирование траекторий реализовано с применением алгоритма Дейкстры. Дискретность траекторий, получаемых с использованием алгоритма поиска пути на графе, может быть компенсирована на борту автономных мобильных роботов за счет применения сплайн-аппроксимации. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность предлагаемого подхода как в задаче распознавания и локализации мобильных роботов, так и в задаче планирования безопасных траекторий.

**Ключевые слова:** SURF detection, A-star, UDP protocol, автономные мобильные роботы, маршрутизация, видеонаблюдение

• Поступила: 24.11.2020 • Доработана: 20.01.2021 • Принята к опубликованию: 29.03.2021

**Для цитирования:** Егорцев М.В., Диане С.А.К., Кац Н.Д. Алгоритмическое обеспечение системы внешнего наблюдения и маршрутизации автономных мобильных роботов. *Российский технологический журнал*. 2021;9(3):15–23. https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-15-23

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### RESEARCH ARTICLE

# Algorithmic support of the system of external observation and routing of autonomous mobile robots

#### Maksim V. Egortsev <sup>®</sup>, Sekou Abdel Kader Diane, Nikolai D. Kaz

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia © Corresponding author, e-mail: maksimegortsev1@gmail.com

Abstract. This article presents the algorithmic support of the external monitoring and routing system of autonomous mobile robots. In some cases, the practical usage of mobile robots is related to the solution of navigation problems. In particular, the position of ground robots can be secured using unmanned aerial vehicles. In the proposed approach based on the video image obtained from an external video camera located above the working area of mobile robots, the location of both robots and nearby obstacles is recognized. The optimal route to the target point of the selected robot is built, and changes in its working area are monitored. Information about the allowed routes of the robot is transmitted to third-party applications via network communication channels. Primary image processing from the camera includes distortion correction, contouring and binarization, which allows to separate image fragments containing robots and obstacles from background surfaces and objects. Recognition of robots in a video frame is based on the use of a SURF detector. This technology extracts key points in the video frame and compares them with key points of reference images of robots. Trajectory planning is implemented using Dijkstra's algorithm. The discreteness of the trajectories obtained using the algorithm for finding a path on the graph can be compensated for on board autonomous mobile robots by using spline approximation. Experimental studies have confirmed the efficiency of the proposed approach both in the problem of recognition and localization of mobile robots and in the problem of planning safe trajectories.

Keywords: SURF detection, A-star, UDP protocol, autonomous mobile robots, routing, video monitoring

#### • Submitted: 24.11.2020 • Revised: 20.01.2021 • Accepted: 29.03.2021

**For citation:** Egortsev M.V., Diane S.A.K., Kaz N.D. Algorithmic support of the system of external observation and routing of autonomous mobile robots. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2021;9(3):15–23 (in Russ.). https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-15-23

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В области систем видеонаблюдения и планирования маршрутов автономных мобильных роботов (АМР) в настоящее время проводятся масштабные исследования. Появляются новые технические решения для обнаружения роботов и препятствий, построения карт местности и нахождения оптимального маршрута. Используются различные способы получения и обработки видеоинформации о состоянии рабочей зоны робота.

Так, например, в [1] описано построение семантической карты помещения с помощью автономного мобильного робота, который передает изображение удаленной программе. По полученным видеокадрам вычисляются местоположения

релевантных объектов (информационные знаки, двери, огнетушители) и отмечаются на 3D-карте.

В [2] представлено решение, позволяющее беспилотному летающему аппарату с помощью особенностей окружающей среды более точно оценивать сцену и планировать операции.

В данной статье рассмотрена система, рассчитывающая оптимальный маршрут до целевой точки для выбранного АМР с учетом статических и динамических препятствий, обнаруженных на видеоизображении с потолочной камеры, которая располагается над зоной перемещения робота.

В каждом конкретном случае разработки системы внешнего наблюдения и маршрутизации AMP приходится учитывать специфику поставленной задачи.

Первое, на что стоит обратить внимание, это разработка требований к подсистеме приема и обработки видеоизображения, а также ее предэксплуатационная настройка. В частности, на этапе инициализации системы необходимо осуществить подключение к удаленной навигационной камере и определить параметры алгоритма для устранения оптических искажений с получаемого изображения.

Во-вторых, системе необходимо корректно распознавать роботов и препятствия. Если на рабочей сцене кроме робота, для которого рассчитывается маршрут, находятся другие роботы, они должны быть выделены как препятствия. Также необходимо в режиме реального времени отслеживать возникновение динамических препятствий на карте.

Другой важной проблемой является построение карты и планирование пути. Маршрут, сформированный по построенной локальной карте, должен обеспечить наискорейшее движение робота до конечной точки, исключая возможность столкновения с препятствиями. Однако следует учитывать возможность преодоления роботом небольших препятствий для уменьшения длины маршрута. Кроме того, возможно возникновение шумов (отображение ложных препятствий), которые могут быть связаны, например, с неравномерностью текстуры поверхности, по которой перемещается робот. Данные шумы также не должны влиять на работу программы.

Наконец, необходимо организовать веб-интерфейс для передачи информации о навигационных параметрах и возможных маршрутах AMP в сторонние приложения.

Завершающий этап разработки системы – проведение экспериментальных исследований, подтверждающих работоспособность программного обеспечения и целесообразность применения полученных моделей и алгоритмов для решения задач, поставленных перед системой внешнего видеонаблюдения и маршрутизации АМР.

#### МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Основные научно-технические проблемы, связанные с реализацией системы видеонаблюдения и планирования маршрута (СВПМ) для АМР, которые были упомянуты во введении, определяют ее обобщенную структуру (рис. 1).

Внешняя среда, изображенная на структурной схеме, динамична, что проявляется в изменениях, происходящих в рабочей зоне робота. Это может быть появление динамических препятствий, перемещение роботов или появление новых. Для планирования корректного маршрута программе необходимо реагировать на подобные изменения в режиме реальном времени.

Человеко-машинный интерфейс должен обеспечивать выбор внешней IP-камеры, к которой подключается программа на борту отслеживаемого робота, а также отображение маршрута, полученного после выполнения программы.

Сторонние приложения подключаются к основной программе с помощью UDP протокола [3] и получают данные о маршрутах передвижения робота.

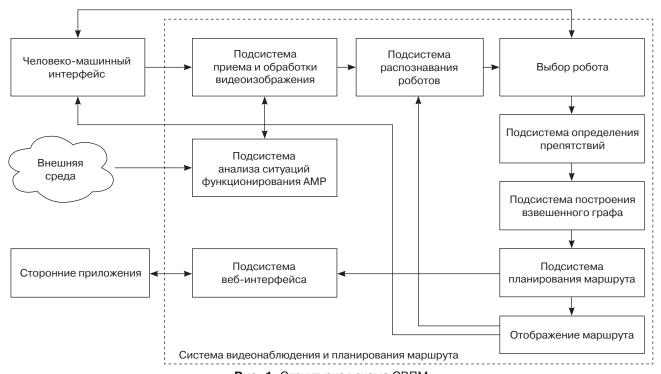
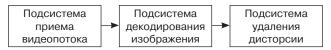


Рис. 1. Структурная схема СВПМ

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ

Реализации подсистемы приема и обработки видеоизображения состоит из основных трех модулей (рис. 2).



**Рис. 2.** Подсистема приема и обработки видеоизображения

Данные передаются с IP-камеры Beward BD3670M [4], с помощью которой пользователь получает широкоформатное изображение без разрывов и мертвых зон. Подключение к IP-камере и прием видеопотока обеспечиваются с помощью средств библиотеки компьютерного зрения EmguCV на основе одного из протоколов сетевой передачи информации (HTTP, RTSP и т.д.). При этом осуществляется автоматическое декодирование сжатого видеопотока из формата H264, MJPEG или других в отдельные кадры, представляющие собой массивы яркостей отдельных точек растрового изображения по каналам R, G, B (красный, зеленый и синий, соответственно).

Для устранения отрицательной дисторсии, обусловленной использованием широкоугольного объектива [5], к изображению применяется положительная дисторсия [6]. Определяем, что оптическая осъпроходит через центр изображения и заранее подбираем коэффициент линейного усиления.

#### АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСПОЗНАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Обработка растровых изображений и распознавание графических объектов осуществляются с помощью методов компьютерного зрения [7]. Целью компьютерного зрения является формирование

полезных выводов по объектам и сценам реального мира на основе заданного изображения.

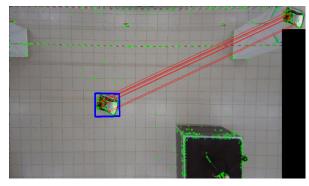
В рассматриваемой задаче визуальной навигации АМР необходимо определять на изображении роботов и препятствия. Так как нам заранее известен внешний вид робота (объекта), можно осуществить его поиск на визуальной сцене с помощью алгоритма SURF [8]. Он состоит из трех основных частей: обнаружение особых точек, локальное описание окрестностей этих точек и поиск соответствий.

С помощью детекторов [9] из изображений сцены и объектов извлекаются особые точки [10], для каждой особой точки строится дескриптор [11]. Дескриптор строится на основе исходного изображения и множества распознанных особых точек. Обработав эти данные, получаем множество векторов признаков – по вектору на каждую особую точку. Признаки строятся на основании информации об интенсивности, цвете и текстуре особой точки относительно полного изображения.

На рис. 3 можно наблюдать результат работы SURF детектора. Зелеными окружностями выделены особые точки на изображении сцены (левая часть рисунка) и особые точки на изображении объекта (правая часть рисунка). Для данных точек строятся дескрипторы и по ним находятся соответствия (красные линии, соединяющие особые точки). Искомый объект выделен синим прямоугольником.

Выделение робота прямоугольником происходит с помощью матрицы гомографии, включающей в себя найденные соответствия. С помощью этой матрицы происходит сравнение особых точек на эталонном изображении и сцене и преобразование вершин эталонного изображения с учетом расположения, ориентации и масштаба найденного робота.

Алгоритм поочередно просматривает каждое эталонное изображение до тех пор, пока не получит отрицательный ответ об обнаружении робота. Если найдено недостаточное количество соответствий или в матрице гомографии выявлено несоответствие, считается, что робота, соответствующего



**Рис. 3.** Обнаружение объекта с помощью SURF детектора

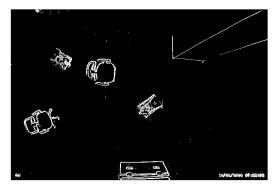


Рис. 4. Применение оператора Собеля

эталонному изображению, на сцене нет. При нахождении робота область, где он расположен, закрашивается.

Задачу определения препятствий можно решить с помощью алгоритмов выделения границ [12], в данном случае задача решена с помощью оператора Собеля (рис. 4) [13].

Оператор Собеля – дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближенное значение градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма.

Градиент яркости, вычисленный в каждой точке изображения, позволяет определить направление наибольшего изменения яркости и величину ее изменения. По тому, насколько «резко» или «плавно» меняется яркость изображения, можно судить о вероятности расположения точки на грани объекта.

Карта препятствий (рис. 4), полученная таким образом, позволяет решать вопросы планирования маршрутов передвижения АМР.

#### МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ АМР С УЧЕТОМ ОБНАРУЖЕННЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ

На вход алгоритма поиска траектории подается изображение с выделенными препятствиями и выбранным роботом. Данное изображение делится на равные клетки, по которым может перемещаться робот, и определяется клетка, в которой изначально находится робот. Далее определяется относительное содержание препятствий в каждой клетке по формуле:

$$k = \sum_{x=0}^{W} \sum_{y=0}^{H} v_{xy},$$
 (1)

где W и H – количество пикселей по горизонтали и вертикали в клетке, соответственно;  $v_{xy}$  принимает

значения 1 (если пиксель – белый) и 0 (если пиксель – черный). Все роботы, кроме выбранного, также рассматриваются как препятствия.

Каждая клетка является вершиной графа с меткой, отражающей минимальную длину пути до этой вершины (рис. 5). При создании графа всем меткам присваивается значение бесконечности, кроме метки, соответствующей расположению робота (выделена зеленым цветом), которой присваивается нулевое значение. Робот может перемещаться по ребрам графа, причем стоимость перемещения в каждую соседнюю клетку указана на ребре между данными клетками. В клетки, которые содержат большое процентное соотношение препятствий (выделены красным цветом), робот попасть не может.

Оптимальный маршрут рассчитывается с помощью алгоритма А\* [3]. Данный алгоритм пошагово просматривает все маршруты от начальной вершины к конечной, пока не найдет минимальный. Алгоритм начинает анализ с маршрутов, которые «кажутся» ведущими к цели. Порядок обхода вершин определяется эвристической функцией:

$$f(x) = g(x) + h(x), \tag{2}$$

где g(x) — стоимость пути от начальной вершины; h(x) — функция эвристической оценки расстояния от начальной до конечной вершины.

#### АЛГОРИТМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Так как расчет маршрута для АМР происходит в реальном времени, существует вероятность появления изменений в рабочей зоне. Алгоритм отслеживания изменений реализован на основе применения низкочастотного фильтра и вычисления хеша по среднему [14].

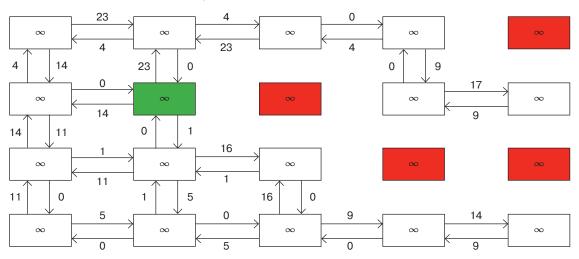


Рис. 5. Модель взвешенного графа

Исходное изображение (для которого рассчитан маршрут) и изображение, полученное с камеры в данный момент времени, уменьшают в размерах, переводят в оттенки серого и вычисляют среднее значение цвета для всех пикселей. Далее строится хеш изображений по формуле:

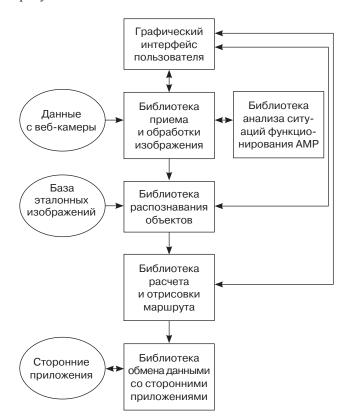
$$h = \begin{cases} 1, v_i > a \\ 0, v_i \le a \end{cases} \tag{3}$$

где  $v_i$  — значение цвета каждого пикселя; h — среднее значение; a — пороговая величина.

Полученные хеши сравниваются путем подсчета количества разных битов. При нулевом результате картинки, скорее всего, одинаковые, при увеличении данного результата увеличивается вероятность того, что картинки различны.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И МАРШРУТИЗАЦИИ АМР

При разработке системы видеонаблюдения и маршрутизации АМР упор был сделан на модульность и независимость компонентов, что позволяет изменять и дополнять систему даже на поздних этапах разработки, не нарушая основную структуру программы. Структура ПО системы представлена на рисунке 6.



**Рис. 6.** Структура программного обеспечения системы

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные эксперименты демонстрируют работоспособность программного комплекса. На рис. 7 приведен пример распознавания нескольких роботов, выбор одного из них (рис. 8) и расчет оптимального маршрута до целевой точки (рис. 9).

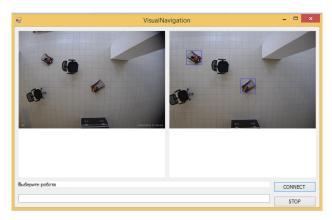


Рис. 7. Режим выбора робота

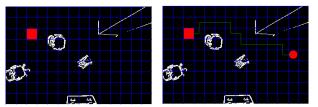


Рис. 8. Выбор робота

**Рис. 9.** Построение маршрута

Следует отметить, что дискретность маршрута (рис. 9), обусловленная конечным числом разбиений карты местности, может быть устранена за счет применения сплайн-аппроксимации маршрута [15]. Однако данный функционал не включен в перечень возможностей СВПМ в связи с тем фактом, что параметры интерполяции и сглаживания маршрута робота должны определяться в клиентских приложениях на основе передаваемых опорных точек. За счет этого достигается универсальность подсистемы планирования маршрута.

В следующем экспериментальном исследовании рассмотрен случай появления динамического препятствия в рабочей зоне робота. Кроме того, маршрут строится для двурукого робота, который имеет другой внешний вид относительно предыдущего рассмотренного робота, что демонстрирует способность программы распознавать роботов различного типа (рис. 10).

Во время выбора конечной точки маршрута в зоне видимости камеры появляется динамическое препятствие – человек. Программа выдает предупреждение, в котором предлагает пересчитать маршрут с учетом динамического препятствия (рис. 11).

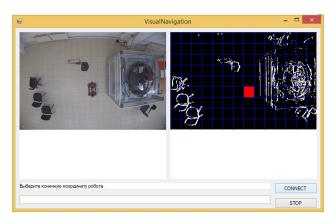


Рис. 10. Распознавание робота

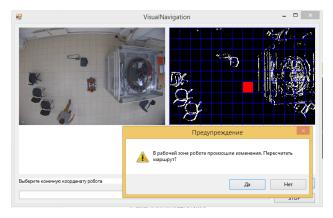


Рис. 11. Появление динамического препятствия

Далее можно выбрать продолжение работы и продолжить расчет маршрута, невзирая на изменения, или начать заново, тогда программа пересчитает траекторию робота.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования выявлены основные сферы применения для системы внешнего наблюдения и маршрутизации АМР. В данной области разработано множество технических решений, позволяющих вычислить оптимальный маршрут для АМР, с уменьшением затрат на сенсоры и датчики, расположенные на самом роботе для локализации его на местности. При этом важное значение имеет возможность перепланировать маршрут при возникновении неучтенных заранее препятствий на любом участке пути, попадающем в зону видимости камер.

С учетом широкого спектра проблем в данной сфере в рамках данного исследования были достигнуты следующие результаты:

- 1. Разработана структура системы внешнего наблюдения и анализа ситуаций функционирования АМР.
- Разработаны алгоритмы распознавания объектов на изображениях с видеокамер, включая мобильных роботов и препятствия на пути их движения, с применением технологии дескрипторов ключевых точек.

- 3. Разработаны алгоритмы планирования целенаправленных движений AMP с учетом обнаруженных препятствий.
- 4. Разработано программное обеспечение для анализа среды перемещения AMP, определения их навигационных параметров и маршрутизации.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность и универсальность разработанных алгоритмов. Были получены корректные данные при распознавании различных роботов. Кроме того, система показала свою работоспособность при обнаружении нескольких роботов на изображении одновременно. В каждом из этих случаев программа проложила оптимальный маршрут и осуществила передачу данных удаленным приложениям.

Широта проблематики внешнего наблюдения и маршрутизации АМР открывает целый ряд возможных направлений дальнейшего развития системы. Так, например, можно отслеживать перемещения робота, чтобы была возможность корректировать его движение на протяжении всего маршрута.

Кроме того, отдельное внимание стоит уделить возможности вести наблюдения сразу с нескольких камер. Данная модернизация позволит увеличить рабочую зону робота. Но также появятся новые проблемы, такие как: объединение изображений с нескольких камер в одно или непрерывная работа АМР при смене рабочей камеры.

Интересное направление развития систем визуальной навигации связано с возможностью локализации целевого объекта при наклонном положении видеокамеры, что открывает перспективы для оперативного развертывания подобных систем в полевых условиях.

Не менее важной представляется перспектива применения нейросетевых методов анализа изображений для классификации разнородных объектов в зоне движения мобильного робота. Данная функциональная возможность может оказаться полезной для комплексной оценки ситуаций функционирования робота в ходе выполнения поставленных прикладных задач.

#### Вклад авторов

**М.В. Егорцев** – разработка программного обеспечения для распознавания и локализации мобильных роботов, подготовка иллюстраций, описание результатов.

**С.А.К. Диане** – разработка архитектуры программного комплекса, научное редактирование.

**Н.Д. Кац** – обзор литературных источников, настройка аппаратного обеспечения системы маршрутизации мобильных роботов.

#### **Authors' contribution**

- **M.V. Egortsev** development of software for detection and localization of mobile robots, preparation of illustrations, description of the results.
- **S.A.K. Diane** development of the software package architecture, scientific editing.
- $\begin{tabular}{ll} \textbf{N.D. Kaz} literature review, configuring the hardware of the mobile robot routing system. \end{tabular}$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lee D., Parangi A. CS 4758: Automated semantic mapping of environment. 2013. URL: https://www.cs.cornell. edu/courses/cs4758/2013sp/final\_projects/spring\_2011/ Dongsu\_Aperahama.pdf
- 2. Le Saux B., Sanfourche M. Rapid semantic mapping: learn environment classifiers on the fly. In: *Proc. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. November 3–7, 2013. Tokyo, Japan. https://doi.org/10.1109/IROS.2013.6696888
- Kurose J.F., Ross K.W. Computer networking: A topdown approach. 5th ed. Boston, MA: Pearson Education; 2010. 864 p. ISBN 978-0-13-136548-3
- 4. Преимущества IP-видеонаблюдения над аналоговым на примере BEWARD. URL: https://www.beward.ru/articles/statya-preimushhestva-ip-videonablyudeniya-nad-analogovym-na-primere-oborudovaniya-beward/
- 5. Иофис Е.А., Шебалин И.Ю. *Фотокинотехника*. М.: Советская энциклопедия; 1981. С. 80, 81.
- 6. Helland T. A simple algorithm for correcting lens distortion. URL: http://www.tannerhelland.com/4743/simple-algorithm-correcting-lens-distortion/
- 7. Манюкова Н.В. Компьютерное зрение как средство извлечения информации из видеоряда. *Математические структуры и моделирование*. 2015;4(36):123–128.
- 8. Mikolajczyk K., Schmid C. A performance evaluation of local descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2005;27(10):1615–1630. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2005.188
- 9. Абилмажинова Б.С., Андреев В.О. Детекторы углов или как происходит распознавание маркеров дополненной реальности. *Инновации в науке*. 2016;2(51):156–162.
- 10. Ивашечкин А.П., Василенко А.Ю., Гончаров Б.Д. Методы нахождения особых точек изображения и их дескрипторов. *Молодой ученый*. 2016;15(119):138–140.
- 11. Бовырин А.В., Дружков П.Н., Ерухимов В.Л., Половинкин А.Н. и др. *Разработка мультимедийных приложений с использованием библиотек OpenCV и IPP*. М.: ИНТУИТ; 2016. 515 с.
- Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986;PAMI-8(6):679–698. https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851
- Blair B., Murphy C. Difference of gaussian scale-space pyramids for SIFT feature detection. 6.375: Complex Digital Systems Design Final Project Report, Spring 2007. URL: http://www.ballardblair.com/projects/ Difference of Gaussian\_paper.pdf
- Рудаков И.В., Васютович И.М. Исследование перцептивных хеш-функций изображений. Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015;08:269–280. http://dx.doi.org/10.7463/ 0815.0800596
- 15. Юферев В.С. Локальная аппроксимация кубическими сплайнами. *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.* 1981;21(1):5–10.

#### **REFERENCES**

- 1. Lee D., Parangi A. CS 4758: Automated semantic mapping of environment. 2013. Available from URL: https://www.cs.cornell.edu/courses/cs4758/2013sp/final\_projects/spring\_2011/Dongsu\_Aperahama.pdf
- 2. Le Saux B., Sanfourche M. Rapid semantic mapping: learn environment classifiers on the fly. In: *Proc. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. November 3–7, 2013. Tokyo, Japan. https://doi.org/10.1109/IROS.2013.6696888
- 3. Kurose J.F., Ross K.W. *Computer networking: A top-down approach*. 5th ed. Boston, MA: Pearson Education; 2010. 864 p. ISBN 978-0-13-136548-3
- Preimushchestva IP-videonablyudeniya nad analogovym na primere BEWARD (Advantages of IP-video surveillance over analog by the example of BEWARD). Available from URL: https://www.beward.ru/articles/statya-preimushhestvaip-videonablyudeniya-nad-analogovym-na-primereoborudovaniya-beward/ (in Russ.).
- 5. Iofis E.A., Shebalin I.Yu. *Fotokinotekhnika* (*Photocinotechnics*). Moscow: Sovetskaya entsiklopediya; 1981, p. 80, 81 (in Russ.).
- 6. Helland T. A simple algorithm for correcting lens distortion. Available from URL: http://www.tannerhelland.com/4743/simple-algorithm-correcting-lens-distortion/
- 7. Manukova N.V. Computer vision as a means of extracting information from the video. *Matematicheskie struktury i modelirovanie = Mathematical Structures and Modeling*. 2015;4(36):123–128 (in Russ.).
- 8. Mikolajczyk K., Schmid C. A performance evaluation of local descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2005;27(10):1615–1630. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2005.188
- 9. Abilmazhinova B.S., Andreev V.O. Corner detectors or how to implement marker detection for augmented reality. *Innovatsii v nauke*. 2016;2(51):156–162 (in Russ.).
- Ivashechkin A.P., Vasilenko A.Yu., Goncharov B.D. Methods for finding special points of an image and their descriptors. *Molodoi uchenyi = Young scientist*. 2016;15(119):138–140 (in Russ.).
- 11. Bovyrin A.V., Druzhkov P.N., Erukhimov V.L., Polovinkin A.N., et al. Razrabotka mul'timediinykh prilozhenii s ispol'zovaniem bibliotek OpenCV i IPP (Development of multimedia applications using the OpenCV and IPP libraries). Moscow: INTUIT; 2016. 515 p. (in Russ.).
- 12. Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986;PAMI-8(6):679–698. https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851
- 13. Blair B., Murphy C. Difference of gaussian scale-space pyramids for SIFT feature detection. 6.375: Complex Digital Systems Design Final Project Report, Spring 2007. Available from URL: http://www.ballardblair.com/projects/Difference\_of\_Gaussian\_paper.pdf
- 14. Rudakov I.V., Vasiutovich I.M. Analysis of perceptual image hash functions. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of Bauman MSTU.* 2015;08:269–280 (in Russ.). http://dx.doi.org/10.7463/0815.0800596

15. Yuferev V.S. Local approximation by cubic splines. *U.S.S.R. Comput. Math. Math. Phys.* 1981;21(1):2–7. https://doi.org/10.1016/0041-5553(81)90126-9
[Yuferev V.S. Lokal'naya approksimatsiya kubicheskimi splainami. *Zh. vychisl. matem. i matem. fiz.* = *USSR. Comput. Math. Math. Phys.* 1981;21(1):5–10 (in Russ.).]

#### Об авторах

**Егорцев Максим Викторович,** аспирант кафедры проблем управления Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: maksimegortsev1@gmail.com. https://orcid.org/0000-0002-2096-2544

**Диане Секу Абдель Кадер,** к.т.н., доцент кафедры проблем управления Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: sekoudiane1990@gmail.com. ResearcherID: T-5560-2017 Scopus Author ID: 57188548666, https://orcid.org/0000-0002-8690-6422

**Кац Николай Дмитриевич,** аспирант кафедры проблем управления Института кибернетики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: nkatz777@gmail.com. https://orcid.org/0000-0002-0740-4628

#### About the authors

**Maksim V. Egortsev,** Postgraduate Student, Department of Control Problems, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: maksimegortsev1@gmail.com. https://orcid.org/0000-0002-2096-2544

**Sekou Abdel Kader Diane,** Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Control Problems, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: sekoudiane1990@gmail.com. ResearcherID: T-5560-2017, Scopus Author ID: 57188548666, https://orcid.org/0000-0002-8690-6422

**Nikolai D. Kaz,** Postgraduate Student, Department of Control Problems, Institute of Cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: nkatz777@gmail.com. https://orcid.org/0000-0002-0740-4628