

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Горитов А.Н.

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Томск*

Ключевые слова: робот, манипуляционный робот, внешняя среда, техническое зрение, обработка изображения, управление манипулятором.

Аннотация. Манипуляционные роботы широко применяются для перемещения предметов производства, а также выполнения различных технологических операций. Перемещения выполняются в контейнеры или в специализированные устройства для дальнейшей обработки. Так как положение объектов и количество заранее не известны, то для получения информации о внешней среде используется видеокамера. Для задания объектов, с которыми предстоит оперировать, используются заранее подготовленные шаблоны. Для выполнения поиска реализован ряд методов. В результате поиска определяются координаты объектов, соответствующих заданному шаблону. Это позволяет подготовить систему команд для манипуляционного робота по захвату найденного объекта и выполнения с ним необходимых операций.

CONTROL METHODOLOGY FOR MANIPULATION ROBOT BASED ON IMAGE PROCESSING OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT

Goritov A.N.

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk

Keywords: robot, manipulator robot, external environment, computer vision, image processing, manipulator control.

Abstract. Manipulation robots are widely used to move production items as well as to perform various technological operations. The movements are performed into containers or into specialized devices for further processing. Since the position of the objects and the quantity are not known in advance, a video camera is used to obtain information about the external environment. Pre-prepared templates are used to specify the objects to be operated with. A number of methods are implemented to perform the search. As a result of the search, the coordinates of the objects corresponding to the given template are determined. This allows to prepare a system of commands for the manipulation robot to capture the found object and perform the necessary operations with it.

Введение

Обеспечение функционирования робота в условиях неопределённости внешней среды является одной из актуальных задач в области робототехники. Адаптивные манипуляционные роботы упрощают процесс подготовки к запуску нового производства. Для этого необходимо обеспечить робота средствами получения информации о внешней среде, что требует разработки эффективных методов получения данных и управления роботами для выполнения запланированных операций.

Постановка задачи

В настоящее время для получения информации о внешней среде манипуляционного робота широко используются видеокамеры [1].

Предположим, что видеокамера установлена над рабочей областью манипуляционного робота (МР). Схематичное изображение МР и его рабочей зоны представлено на рисунке 1.

Из видеоизображения блок управления МР формирует последовательность команд, обеспечивающих выполнение запланированной операции. Для этого необходимо обработать полученное видеоизображение, выделить искомые объекты и определить их пространственное положение относительно МР.

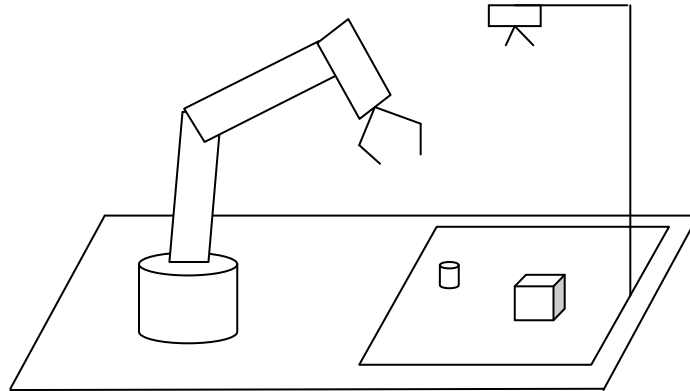


Рис. 1. Схематичное изображение манипуляционного робота и его рабочей зоны

Таким образом, необходимо разработать метод обработки изображения внешней среды манипуляционного робота и способ определения деталей, с которыми будут выполняться операции, заданные оператором. Это позволит с меньшими затратами настраиваться на выполнение операций с заданными деталями, находящимися в произвольных местах рабочего пространства робота и при наличии посторонних деталей.

Задача представляет собой комплекс действий, включающий в себя сбор и анализ данных о внешней среде, а также управление сложным манипулятором с множеством звеньев для успешного выполнения поставленной цели.

В соответствие с этим можно выделить следующие подзадачи:

- а) регистрация и обработка изображения;
- б) поиск заданного объекта на изображении;
- в) определение геометрических характеристик рабочего пространства манипуляционного робота;
- г) определение пространственного расположения объектов во внешней среде манипуляционного робота;
- д) разработка алгоритмов управления приводами манипуляционного робота;
- е) исполнение сформированных алгоритмов управления приводами манипуляционного робота.

Адаптивные манипуляционные роботы успешно применяются для выполнения повторяющихся операций с небольшими изменениями во внешней среде. В таких случаях последовательность действий может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке 2.

На рисунке 3 представлена общая структурная схема системы, обеспечивающей выполнение заданной операции адаптивным МР в произвольной внешней среде с использованием технического зрения.

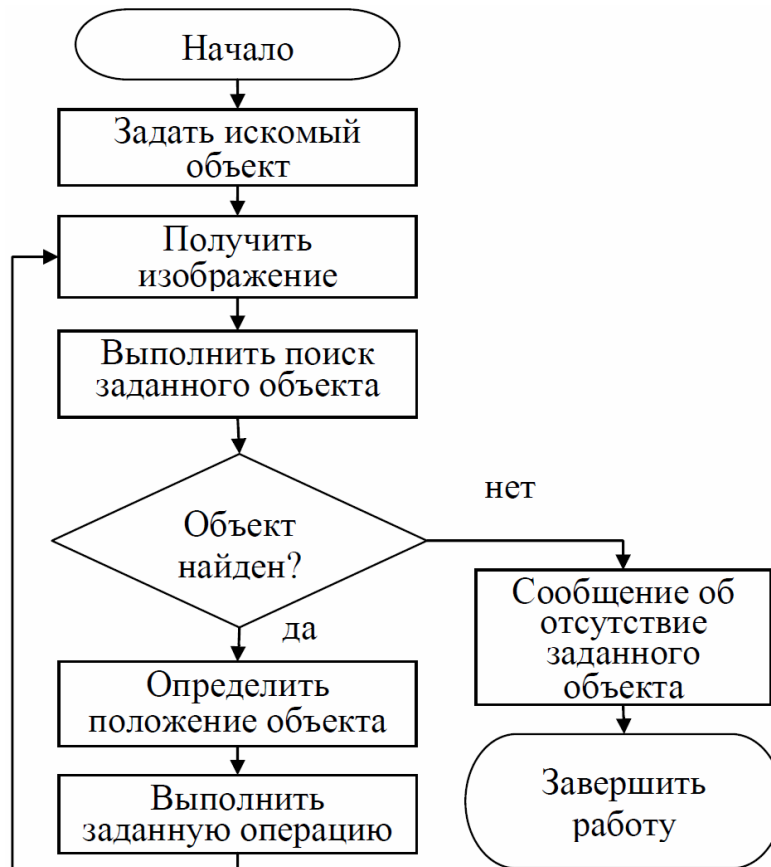


Рис. 2. Основные этапы при выполнении задания по поиску и выполнению операций с заданным объектом



Рис. 3. Структура системы

Реализация технологии

Изображение рабочей сцены, полученное с видеокамеры, часто характеризуется низкой контрастностью и неравномерным освещением. Это затрудняет идентификацию объектов, находящихся на рабочей сцене.

Кроме того, изображение рабочей сцены может быть малоконтрастным, а объекты на нём могут иметь тени или блики.

Для изображений низкого качества можно выполнить ряд преобразований, которые позволят снизить дефекты исходного изображения внешней среды манипуляционного робота. В соответствии с этим обработка изображения внешней среды включает несколько этапов (см. рис. 4).

Для оптимизации вычислительных ресурсов при обработке изображений необходимо преобразовать цветное изображение в полутоновое.

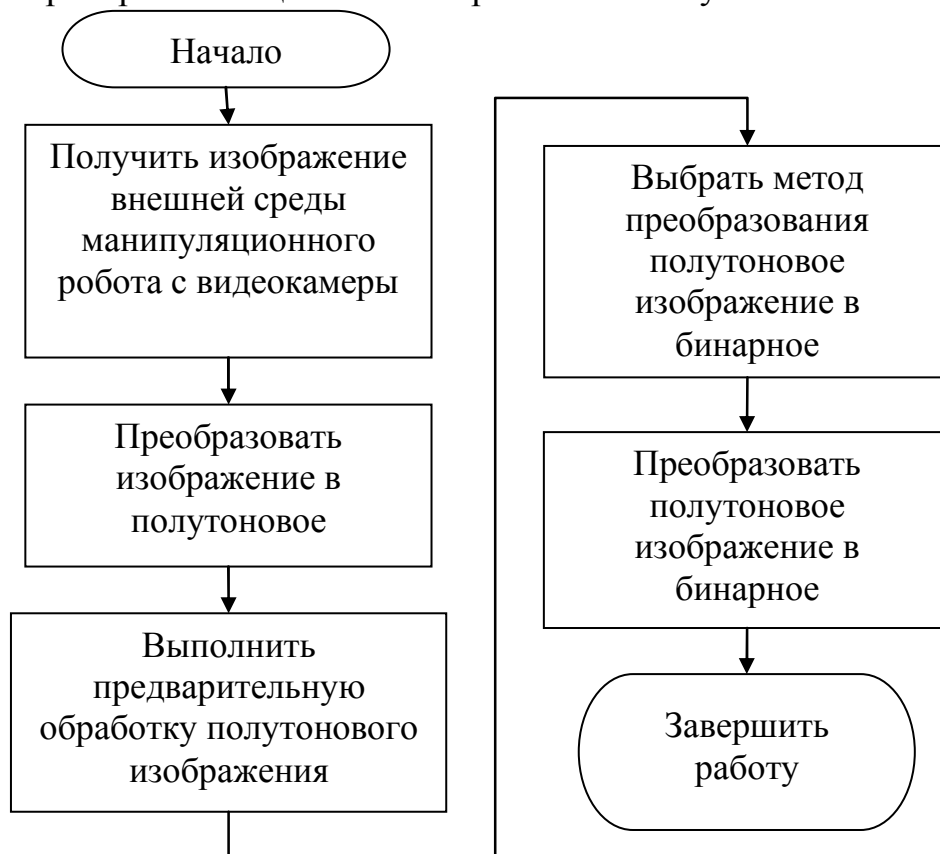


Рис. 4. Структура подсистемы обработки изображения

На следующем этапе происходит переход к черно-белому изображению. Это важный этап обработки изображения, на котором происходит разделение изображения на фон и объекты, представляющие интерес для последующих этапов работы с изображением.

Особенности методов бинаризации, применительно к задачам, возникающих в робототехнике, рассмотрены в работах [2, 3].

Полученное бинарное изображение внешней среды МР является основой для выполнения поиска заданного объекта.

Подсистема поиска в процессе работы использует заранее подготовленные шаблоны объектов.

Перед началом операции поиска необходимо определить объект в виде шаблона. Шаблон представляет собой черно-белое изображение объекта с белым фоном.

Обработка образца происходит в следующем порядке:

- цветное изображение образца преобразуется в полутоновое;
- выполняется фильтрация изображения и его преобразование в бинарное.

Бинарное изображение служит основой для вычисления различных характеристик образца, которые будут использоваться при поиске на изображении внешней среды заданного образца.

Общая схема обработки объектов поиска приведена на рисунке 5.

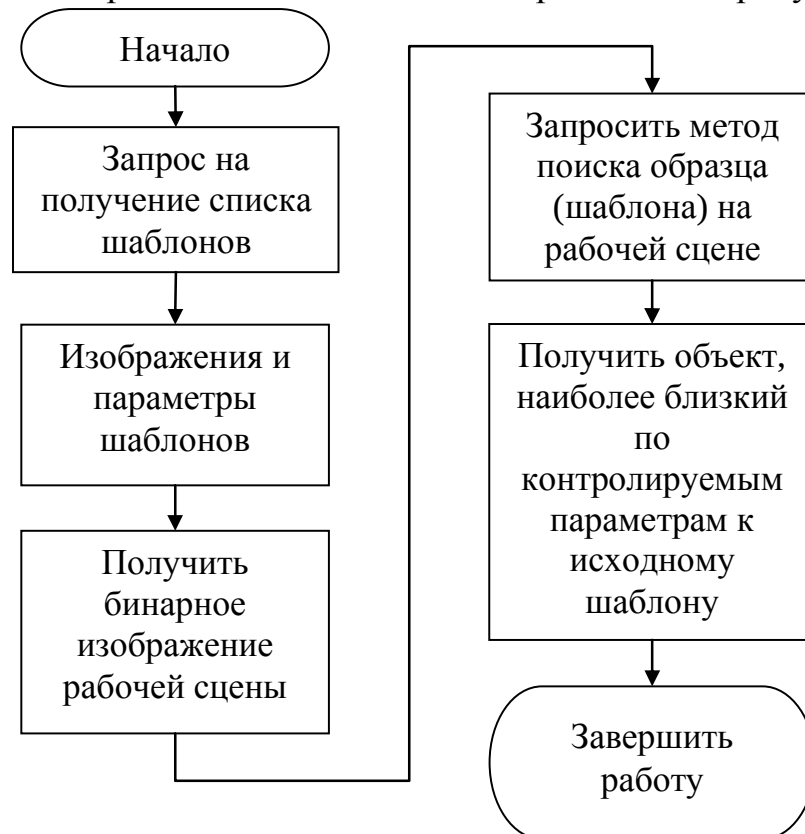


Рис. 5. Подсистема объектов поиска

Для поиска объекта, представленного в виде шаблона, может быть использована следующая последовательность шагов:

- сравнения по площади, занимаемой искомым образцом и объектами, находящимися во внешней среде;
- сравнения по центральным моментам второго порядка искомого образца и объектов, находящихся во внешней среде;
- сравнения по совпадению шаблона искомого образца с объектами, расположенными во внешней среде;
- сравнение по ключевым точкам образца и объектов на изображении.

Сравнение по площади включает в себя:

- 1) получение контуров объектов, находящихся на изображении внешней среды;
- 2) определение площади, охватываемой каждым контуром;
- 3) сравнение площади образца (шаблона) с площадью найденных объектов на изображении внешней среды;

4) запомнить характеристики объекта, площадь которого наиболее близка к площади заданного шаблона.

Для выделения контуров объектов на изображении используется детектор краев Canny [4].

Практическая реализация

Для практической апробации предложенной структуры системы было разработано программное обеспечение для соответствующих подсистем. Программа реализована в виде консольного приложения на языке Java. Для регистрации изображения внешней среды использовалась веб-камера FaceCam 312.

Задача заключается в том, чтобы найти объект, который наиболее близок к заданному шаблону, и переместить его в контейнер. Формирование команд управления манипулятором, которые обеспечивают захват и перемещение объекта в контейнер, в данной работе не рассматривается.

Для иллюстрации работы подсистемы обработки изображений рассмотрим следующий пример. На рисунке 6 приведено изображение внешней среды МР. Необходимо последовательно выделить объекты прямоугольной формы (размером 32x24 мм), квадратные объекты (размером 40x40 мм) и объекты сложной формы.

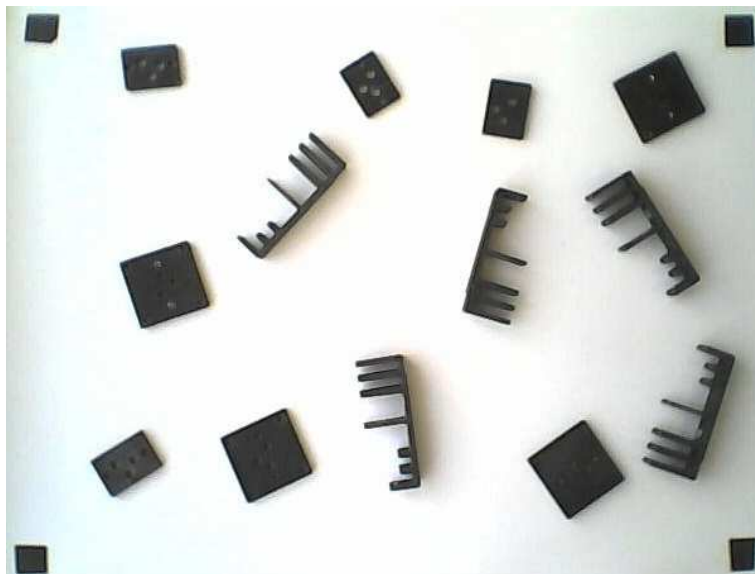


Рис. 6. Изображение рабочей сцены МР

Для поиска объектов будут использоваться шаблоны, приведенные на рисунке 7.



Рис. 7. Изображения шаблонов: а – объект прямоугольной формы (32x24 мм), б – объект квадратной формы (40x40 мм); в – объект сложной формы

Пользователь может выбрать метод поиска образца:

– поиск по совпадению площади образца с объектами на изображении на рабочей сцене;

- поиск на основе сравнения центральных моментов образца и объектов, находящихся на изображении рабочей сцены манипуляционного робота;
- поиска по совпадению шаблона с объектами на изображении на рабочей сцене.

Для правильного отделения объектов от фона большую роль играют методы бинаризации изображения.

Характерной особенностью изображения рабочей сцены, представленного на рисунке 6, является неравномерная освещённость и наличие теней у некоторых объектов. Это затрудняет корректное распознавание объектов после бинаризации изображения с использованием метода Otsu.

Для бинаризации изображения пользователь может выбрать метод Otsu, BBPM, Bradley, Bernsen, Eikvil. Выбор метода бинаризации изображения выполняется в диалоговом окне, приведенном на рисунке 8.

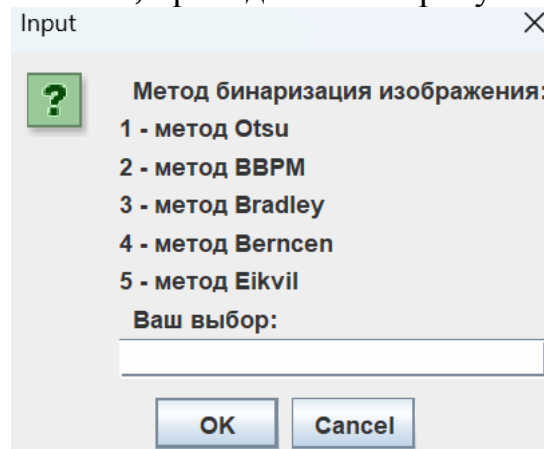


Рис. 8. Диалоговое окно выбора метода бинаризации

Наилучший результат для данного изображения был достигнут с применением методов бинаризации Bradley и BBPM.

Перед выполнением операции поиска заданный шаблон и изображение рабочей сцены необходимо привести к одному масштабу. Реперные точки, находящиеся на изображении внешней среды МР, позволяют определить геометрические характеристики объектов внешней среды и привести шаблоны к одному масштабу с объектами внешней среды МР. Также эта информация используется при формировании команд управления звеньями МР для выполнения запланированных операций.

Результат поиска приведен на рисунке 9, а. Поиск первого шаблона выполнялся в режиме поиска по совпадению площади. В соответствие с задачей поиска выделен один из четырех объектов, которые находятся на рабочей сцене МР.

При поиске второго шаблона задавался метод поиска по совпадению моментов. На рисунке 9, б выделен первый найденный объект из четырех, находившихся на рабочей сцене МР.

Для поиска третьего шаблона задавался метод поиска по совпадению шаблона с объектами рабочей сцены. На рисунке 9, в выделен объект, найденный на изображении рабочей сцене МР с использованием третьего шаблона.

Несмотря на неравномерное освещение и наличие теней у объектов рабочей сцены МР, реализованные методы позволили найти объекты, которые соответствуют шаблонам, заданных в операциях поиска.

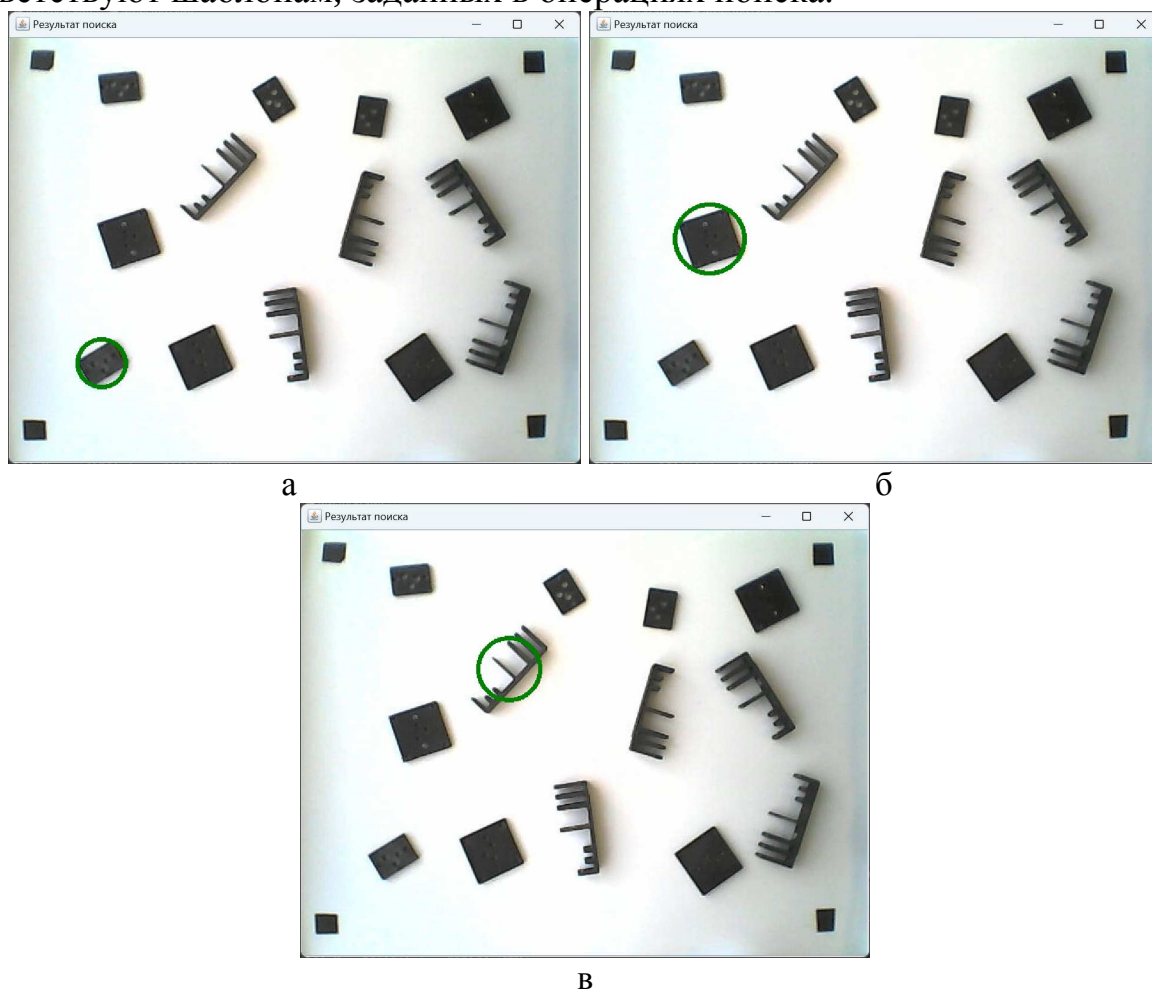


Рис. 9. Результат поиска: а – по первому шаблону, б – по второму шаблону, в – по третьему шаблону

Заключение

Предложена общая структура системы, включающая подсистему получения изображения рабочего пространства, метод поиска шаблона на изображении рабочего пространства, подсистему управления для выполнения манипуляций с найденным объектом, соответствующим заданному образцу.

Искомые объекты задаются в виде шаблона. Для инициализации поиска объекта достаточно выбрать из архива шаблон нужного объекта. Для создания шаблона нового объекта необходимо задать его образ в графическом редакторе. Это можно выполнить в графическом редакторе растрового изображения типа Paint.

Разработано программное обеспечение, которое позволяет осуществлять поиск заданных объектов на изображении внешней среды. Реализованный метод поиска позволяет находить объекты, расположенные в произвольном месте изображения рабочего пространства и повернутые на произвольный угол.

В зависимости от характеристик рабочей сцены пользователь может выбрать различные методы бинаризации изображения, которые наилучшим

образом подходят для обработки изображений с учётом особенностей внешней среды МР.

Разработанное программное обеспечение может быть использовано для тестирования различных методов обработки изображений рабочей сцены и управления манипуляционным роботом в сложных условиях внешней среды.

Список литературы

1. Клевалин В.А., Поливанов А.Ю. Системы технического зрения в промышленной робототехнике // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 9. – С. 26-36.
2. Горитов А.Н. Предварительная обработка изображений в системах технического зрения // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, №4-1. – С. 53-58. – DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-1-53-58.
3. Горитов А.Н. Сравнительный анализ методов бинаризации изображений // XV Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления». Часть 2. – Томск: ТУСУР, 2019. – С. 66-69.
4. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

Сведения об авторе:

Горитов Александр Николаевич – д.т.н., профессор.