

УДК 004.93'12

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ ПЛАТФОРМАМИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

К.т.н. К.Л. Хрусталева, А.А. Функендорф, Д.А. Кобеляцкий, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*В статье рассмотрены вопросы применения систем технического зрения для обеспечения автоматизации управления автономными робототехническими платформами. Предложено и исследовано два алгоритма поиска объекта в рабочем пространстве. Приведен обоснованный анализ результатов исследований.*

*У статті розглянуто питання застосування систем технічного зору для забезпечення автоматизації керування автономними робототехнічними платформами. Запропоновано та досліджено два алгоритми пошуку об'єкту у робочому просторі. Приведено обґрунтований аналіз результатів досліджень.*

*The article deals with the application of systems of technical vision for automation of control of standalone robotic platforms. Two algorithms for finding an object in the working space are proposed and investigated. A substantiated analysis of the results is presented.*

**Ключевые слова:** система технического зрения, алгоритм обработки изображения, кросс-корреляция, бинаризация, обнаружение объекта, гексапод.

## Введение

Системы технического зрения (СТЗ) на сегодняшний день являются востребованными в различных отраслях человеческой деятельности – на промышленных производствах различного назначения, охранных системах, в бытовой сфере. Их применение позволяет автоматизировать управление различными процессами с использованием адаптивных алгоритмов, тем самым интеллектуализировать указанные системы [1]. СТЗ имеют огромную информативную емкость и более чем на 80% влияют на уровень информативности полученных данных [2].

Функционирование систем технического зрения основано на методах обработки информации, таких как сегментация, подсчет пикселей, декодирование, работа по контуру, бинаризация, символьное распознавание, сопоставление шаблонов и др. Очувствление оборудования путем использования принципов машинного зрения осуществляется с помощью изучения компонентов изображения, проведения быстрого и качественного анализа, а также сравнения полученных сведений с ранее заложенными в базе [2-5].

Применение робототехнических систем в различных сферах позволяет повысить их экономические

показатели, что может быть достигнуто за счет повышения качества и скорости автоматизированных операций, непрерывного мониторинга, существенно повышающего надежность и эффективность системы управления. В свою очередь, качество робототехнической системы зависит от точности перемещения исполнительных механизмов и степени адаптации к различным средам – задачам, которые составляют основу навигации [3].

Реализация процессов управления робототехническими системами различного назначения является сложной научной задачей, которая требует разработки новых подходов и алгоритмов для своего решения.

## Разработка алгоритма поиска объектов на основе систем технического зрения автономной робототехнической платформы

Управление сложными автономными робототехническими платформами с использованием СТЗ может быть реализовано на основе нескольких подходов – при использовании камеры в конструкции самого устройства и вне ее.

Для реализации эксперимента было принято решение использовать наружную камеру, угол обзора которой позволял охватить рабочую поверхность (разделенную на зоны) по которой перемещалась автономная робототехническая платформа (рис. 1). В качестве автономной робототехнической платформы использовался гексапод – шагающая шестиконечная роботизированная платформа, выполненная на плате Arduino Mega 2560. Каждая конечность гексапода состоит из двух звеньев и двух сервоприводов, конструктивно для каждой конечности реализована возможность поднятия и поворота. Управление гексаподом реализовано в виде жесткой программы управления (без обеспечения обратной связи) и не учитывает внешние возмущения.

Использование камеры, находящейся вне конструкции гексапода, обусловлено высокими требованиями к вычислительным характеристикам платы управления робота, которые должны быть достаточными для обеспечения решения задач обработки видеоизображения в реальном времени. Для использованного решения обработки изображений, полученных с камеры, а также поиск объекта по ее результатам реализовывался с помощью использования персонального компьютера.

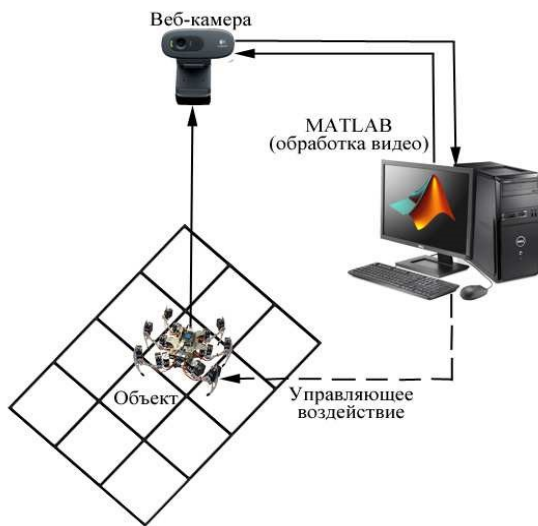


Рис. 1. Компоненты СТЗ

Разработанный алгоритм (рис. 2) основан на более стандартном для решения подобных задач методе кросс-корреляции – оптическом методе, позволяющем идентифицировать изображения для определения изменения на нем, а именно деформаций и полей перемещений. Данный метод получил достаточно широкое применения в системах распознавания изображений.



Рис. 2. Алгоритм поиска объекта с использованием кросс-корреляции [7]

Суть метода заключается в вычислении коэффициента корреляции между матрицами исходного изображения и соответствующего эталона, с учетом их одинаковых разрешений. Нормированный коэффициент корреляции может быть вычислен по формуле [6]:

$$K(f, g) = \frac{\sum_{(x,y) \in X} (f(x,y) - f^o)(g(x,y) - g^o)}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in X} (f(x,y) - f^o)^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in X} (g(x,y) - g^o)^2}}, \quad (1)$$

где  $f^o, g^o$  – средние значения интенсивности для изображений  $f$  и  $g$  соответственно;

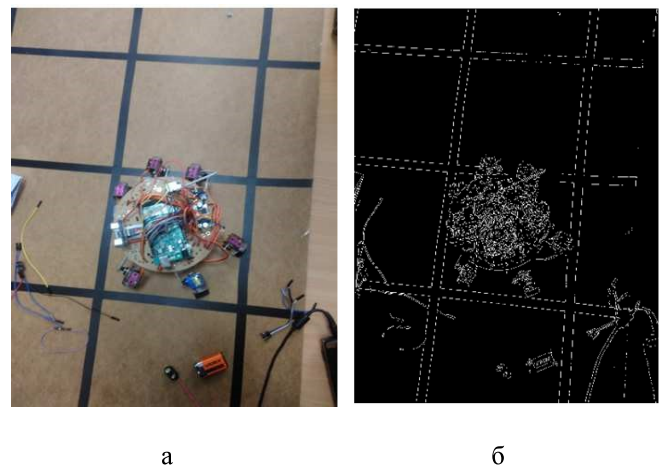
$f(x,y), g(x,y)$  – функции интенсивности изображений  $f$  и  $g$  соответственно;

$X$  – рабочая поверхность, охватываемая полем зрения камеры.

Данный критерий позволяет минимизировать ошибки при изменении линейных размеров эталона и изображения, а также он является более инвариантным к простейшим фотографическим преобразованиям яркости.

В соответствии с приведенным алгоритмом был проведен эксперимент, на этапе предварительной обработки полученные кадры были переведены в градации серого с фильтрацией. Далее к обработанному и проанализированному изображению применялась кросс-корреляция, которая позволяла выделить объект на полученном изображении, тем самым идентифицировав его местоположение и траекторию перемещения при получении нескольких последовательных кадров.

Пример полученного кадра и результат его обработки приведены на рис. 3.



а – полученный кадр; б – результат обработки кадров  
Рис. 3. Обработка полученных кадров на основе алгоритма с использованием кросс-корреляции

Помимо приведенного на рис. 2 алгоритма поиска объекта с использованием кросс-корреляции, авторами был разработан альтернативный алгоритм идентификации объекта в рабочем пространстве с помощью систем технического зрения (рис. 4).

Принцип работы данного алгоритма основан на работе с изображением, переведенном в градации серого с фильтрацией. Поиск границ ячеек осуществлялся с учетом особенностей геометрии поля. Далее вычислялись индексы элементов в которых есть локальные минимумы, по строкам и столбцам соответственно.

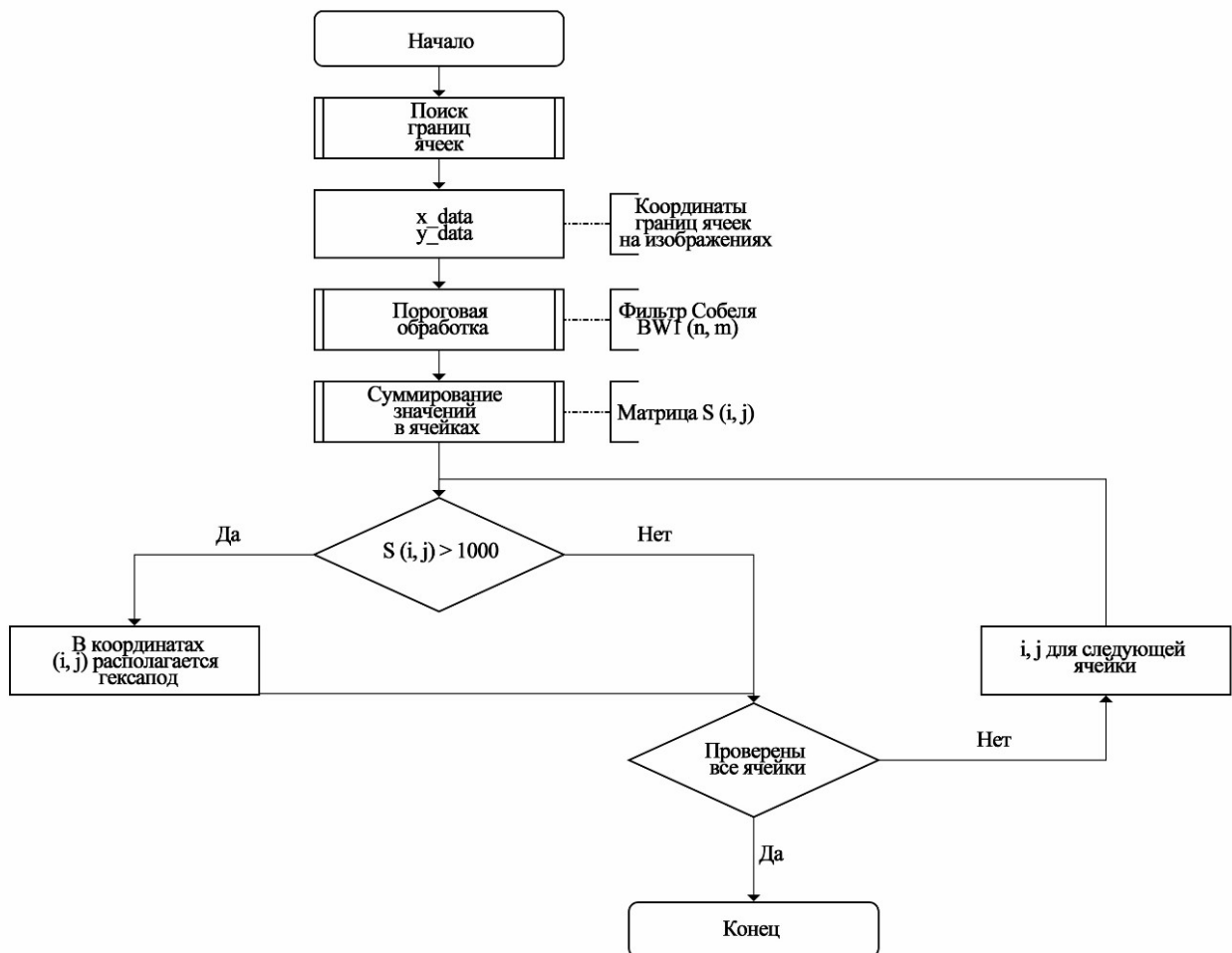


Рис. 4. Альтернативный алгоритм поиска объекта

После были сформированы векторы координат границ по осям. Проведя пороговую обработку изображения и выделив границы объектов, изображение было переведено в бинарный вид и была сформирована матрица бинарных данных в каждой ячейке. Пороговая бинаризация была реализована с использованием фильтра Собеля, позволяющего четко выделить края объектов и разделительных линий-меток рабочего поля. Принцип работы данного фильтра основан на вычислении приближенного значения градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма – функционал, заданный на векторном пространстве и обобщающий понятие длины вектора или абсолютного значения числа.

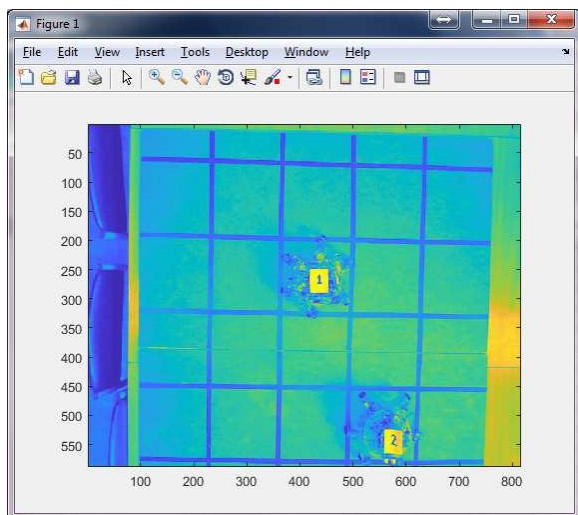
Данный оператор основан на свертке изображения с целочисленными фильтрами. В простейшем случае оператор построен на вычислении свертки исходного изображения с ядрами  $G_x$  и  $G_y$ , обеспечивающими вычисление первых производных по направлениям [8]:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

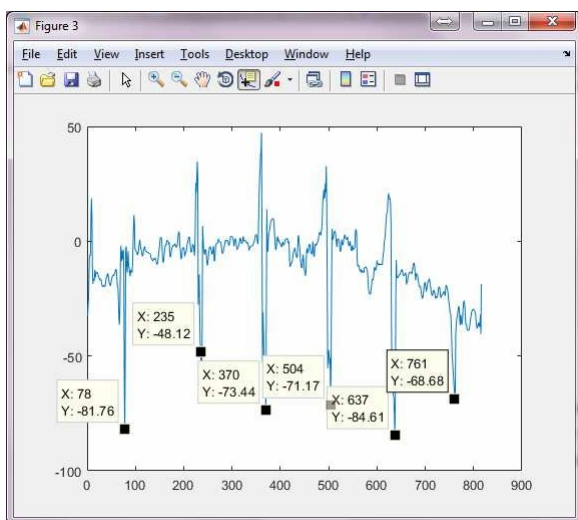
Данный оператор используется для приближенного вычисления градиента функции интенсивности пикселей. Применение оператора  $G_x$  позволяет определить приближенное значение первой частной производной изменения интенсивности в горизонтальном направлении,  $G_y$  – в вертикальном. Исходя из этого, магнитуа градиента для пикселя с координатами  $(i, j)$  можно вычислить согласно формуле [8]:

$$|G^{ij}| = \sqrt{(G_x^{ij})^2 + (G_y^{ij})^2}. \quad (3)$$

Последующим этапом являлось вычисление суммы данных в каждой из ячеек, притом в случае нахождения объекта в определенной ячейке, сумма бинарных единиц значительно превышала аналогичные показатели пустых ячеек. Результат работы алгоритма протестирован на нескольких тестовых кадрах гексапода (рис. 5).



а



б

а – оригинал изображения;  
 б – индексы локальных минимумов  
 Рис. 5. Обработка полученных кадров на основе альтернативного алгоритма

С использованием каждого из приведенных алгоритмов был проведен ряд исследований, показавших, что разработанный альтернативный алгоритм по вычислительной сложности превосходит алгоритм с поиском гексаподов с помощью кросс-корреляции по показателю быстродействия: время обработки изображения 600×800 пикселей составило 0,12 с, в то время как кросс-корреляция занимает 0,87 с. Также альтернативный алгоритм позволял определять положение гексапода на рабочем поле с более высокой точностью чем кросс-корреляционный алгоритм, выдававший значительное количество ошибочных результатов.

### Выводы

В данной работе проведен анализ существующих методов обработки информации, на которых основано функционирование систем технического зрения. Разработано два алгоритма для решения задач поиска объектов на основе систем технического зрения автономной робототехнической платформы – алгоритм, основанный на использовании метода кросс-корреляции и альтернативный. В ходе исследования работы каждого из приведенных алгоритмов было выявлено преимущества второго, что обусловлено показателями быстродействия его работы, а именно быстродействием обработки изображений и выявления на них зоны расположения искомого объекта, а также меньшими показателями возникновения ошибок. Предложенные решения позволяют автоматизировать процесс управления автономными робототехническими платформами с учетом их адаптации к изменяющимся окружающим условиям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Невлюдов, И. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст] / І. Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017р. – 444 с.
2. Особенности и преимущества системы технического зрения [Электронный ресурс] / Комплексная автоматизация технологических процессов, производства и предприятий. – Режим доступа: [http://www.techtrands.ru/techdept/techarticles/tehnicheskogo\\_zreniya.php](http://www.techtrands.ru/techdept/techarticles/tehnicheskogo_zreniya.php). – Загл. с экрана.
3. Миронов, С.В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов [Текст]: С.В. Миронов, А.В. Юдин // Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы». – Тверь, 2011, №1. – С 10-16.
4. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносерв, 2012. – 1104 с.
5. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / matlab.exponenta – Режим доступа: URL <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/34.php>.
6. Корреляционное сопоставление изображений [Электронный ресурс] / Wiki – Техническое зрение. – Режим доступа: [http://wiki.technicalvision.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D1%81%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9](http://wiki.technicalvision.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9) – Загл. с экрана.
7. Гориславец, Д.Ю. Система технического зрения для управления гексаподом. [Текст] / Гориславец Д.Ю., Кобеляцкий Д.А., Пономарьова Г. В. // Материалы XXI международного молодежного форума "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – Харьков, 2017. – 2с
8. Оператор Собея [Электронный ресурс] / Национальный открытый университет «ИНТУИТ». – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/10621/1105/lecture/17989?page=6>. – Загл. с экрана.