

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

Научная статья

УДК 004.93:519.254

ББК 32.813.52

И 29

DOI: 10.53598/2410-3225-2024-4-351-11-19

Идентификации объектов окружения для задач движения дронов в системе мониторинга периметра сельскохозяйственных угодий (Рецензирована)

Алексей Николаевич Самойлов¹, Андрей Иванович Костюк²,
Эдуард Всеволодович Мельник³, Александр Вячеславович Козловский⁴,
Али Мухамедович Гарягдыев⁵

¹⁻⁵ Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

¹ asamoylov@sfedu.ru

² aikostyuk@sfedu.ru

³ evmelnik@sfedu.ru

⁴ kozlovskiy@sfedu.ru

⁵ garyagdyev@sfedu.ru

Аннотация. Рассмотрены архитектурные и алгоритмические принципы создания системы идентификации объектов окружения для задач движения мобильных дронов в системе мониторинга периметра сельскохозяйственных угодий. Построение системы идентификации предполагает гибридизацию алгоритмов обнаружения объектов (YOLO, Faster R-CNN) и машинного обучения с использованием метода опорных векторов (SVM) для классификации обнаруженных объектов. Практическая значимость предлагаемого решения заключается в автономном контроле над перемещениями дронов в случае нарушения спутниковой привязки и отсутствия связи с пультом оператора. Гибкость системы обеспечивается многокомпонентной модульной компоновкой, что дополнительно дает возможность адаптировать систему под конкретный набор задач.

Ключевые слова: идентификация изображений, распознавание объектов, система мониторинга периметра, отслеживание дронов, пространственное перемещение, машинное обучение

Для цитирования: Идентификации объектов окружения для задач движения дронов в системе мониторинга периметра сельскохозяйственных угодий / А. Н. Самойлов, А. И. Костюк, Э. В. Мельник [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2024. Вып. 4 (351). С. 11–19. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-4-351-11-19

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта 4L/22-04-ПИШ (Соглашение № 075–15-2022-1148 от 07.06.2022 г.).

Original Research Paper

Identification of surroundings objects for drone motion problems in the perimeter monitoring system of agricultural land

Aleksey N. Samoylov¹, Andrey I. Kostyuk², Eduard V. Melnik³,
Aleksandr V. Kozlovsky⁴, Ali M. Garyagdyev⁵

¹⁻⁵ Southern Federal University, Taganrog, Russia

¹ asamoylov@sfedu.ru

² aikostyuk@sfedu.ru

³ evmelnik@sfedu.ru

⁴ kozlovskiy@sfedu.ru

⁵ garyagdyev@sfedu.ru

Abstract. The paper considers architectural and algorithmic principles of creating a system of identification of environmental objects for the tasks of mobile drone movement in the system of monitoring the perimeter of agricultural land. The construction of the identification system involves hybridisation of object detection algorithms (YOLO, Faster R-CNN) and machine learning with the use of support vector method (SVM) for classification of detected objects. The practical significance of the proposed solution lies in the autonomous control of drone movements in case of satellite fixation violation and lack of communication with the operator's console. The flexibility of the system is ensured by a multi-component modular layout, which additionally makes it possible to adapt the system to a specific set of tasks.

Keywords: image identification, object recognition, perimeter monitoring system, drone tracking, spatial motion, machine learning

For citation: Identification of surroundings objects for drone motion problems in the perimeter monitoring system of agricultural land / A. N. Samoylov, A. I. Kostyuk, E. V. Melnik [at al.] // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2024. Iss. 4 (351). P. 11–19. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-4-351-11-19

The work was carried out with the financial support of Grant 4L/22-04-PISh (Agreement No. 075-15-2022-1148 of 07.06.2022).

Введение. Ключевая задача автономного управления мобильными дронами заключается в создании точной, быстрой и эффективной технологии, способной распознавать систему указателей на изображениях или в реальном времени с камер видеонаблюдения [1–13].

Развитие соответствующих технологий связано с задачами улучшения безопасности на дорогах и оптимизацией управления транспортными потоками. Начало этому было положено еще в конце 20 века, когда начали развиваться системы помощи водителю и технологии компьютерного зрения. Такие системы предупреждали водителя о выходе за пределы полосы движения или о приближении к другим транспортным средствам. Постепенно эти системы стали включать в себя и распознавание дорожных знаков, таких как скоростные ограничения, предупреждения о перекрестках и т. д. Важным фактором, побудившим разработку технологий распознавания дорожных знаков, стало стремление к автономной езде. Для того чтобы автомобиль мог самостоятельно перемещаться по дорогам, ему необходимо иметь способность распознавать объекты окружения как природного, так и техногенного характера, в частности, дорожные знаки. Этот же фактор справедлив и для задач движения мобильных дронов.

Создание полноценной системы идентификации объектов окружения для задач движения мобильных дронов состоит из следующих этапов исследований:

- Сбор и обработка данных. Этот этап включает в себя методы сбора и анализа данных о системе указателей, а также их обогащение для создания качественного обучающего набора;
- Выбор оптимальной архитектуры и методов обучения. В предложенном подходе используется не нейросеть в чистом виде, а метод опорных векторов (SVM) для классификации графических указателей. Фактически это гибридизация классического метода машинного обучения и глубоких нейронных сетей;
- Интеграция аппаратных средств. Важным аспектом является интеграция программного обеспечения с аппаратными компонентами, что позволяет повысить производительность и эффективность системы.

Архитектура системы идентификации объектов окружения. Идентификация объектов окружения, в частности подзадача распознавания графических указателей,

предполагает наличие следующих компонентов:

- Модуль сбора данных;
- Модуль предварительной обработки изображений (решает такие задачи, как изменение размера, шумоподавление и усиление контрастности);
- Модуль обнаружения: обнаруживает потенциальные графические указатели на изображениях с использованием методов компьютерного зрения;
- Модуль классификации: классифицирует обнаруженные объекты как графические указатели или другие объекты;
- Модуль распознавания: распознает тип указателя (например, возврат на базу, знак разворота) и извлекает соответствующую информацию (например, значение изменения скорости).

Алгоритмы и методы системы идентификации объектов окружения. Предлагаемый подход к построению системы идентификации предполагает гибридизацию алгоритмов обнаружения объектов (YOLO, Faster R-CNN) и машинного обучения с использованием метода опорных векторов (SVM) для классификации обнаруженных объектов.

Распознавание графических указателей включает в себя несколько ключевых этапов: предварительную обработку изображений, локализацию и классификацию указателей. Каждый из этих этапов опирается на различные математические принципы и алгоритмы. Рассмотрим наиболее развитые из них.

Предварительная обработка изображений. Контрастное ограничение (Histogram Equalization).

Цель: Улучшение контрастности изображения.

Метод: Гистограммное выравнивание. С его помощью преобразуется распределение интенсивностей пикселей таким образом, чтобы оно было более равномерным. Это достигается путем преобразования гистограммы исходного изображения так, чтобы оно было близко по своим параметрам к гистограмме равномерного распределения. Для этого используются следующие шаги:

Вычисление гистограммы $p_x(i)$: $p_x(i) = \frac{h_i}{n}$, где h_i — количество пикселей с интенсивностью i , n — общее количество пикселей.

Построение кумулятивной функции распределения $cdf(i)$: $cdf(i) = \sum_{j=v}^i p_x(j)$.

Выравнивание гистограммы: $p_y(i) = \text{round}\left(\frac{(cdf(i) - cdf_{\min})}{(1 - cdf_{\min}) * (L - 1)}\right)$, где L — количество возможных уровней интенсивности (обычно 256 для 8-битных изображений).

Обнаружение краев на изображении (Laplacian of Gaussian) (см. по этому методу [14] и цитируемую там литературу).

Цель: Обнаружение краев на изображении с помощью фильтра второго порядка — LoG (Laplacian of Gaussian).

Метод: Применение гауссова размытия для уменьшения шума, а затем вычисление второго порядка производной (Лапласиана) для подчеркивания областей с высоким градиентом (краев).

Формула гауссова размытия: $G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$, где σ — стандартное отклонение.

Формула Лапласиана Гауссиана (LoG): $LoG(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} G(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} G(x, y)$.

Бинаризация (Thresholding).

Цель: Преобразование изображения в двоичный формат.

Метод: Применение порога к каждому пикселю изображения. Пиксели с интенсивностью выше порога получают значение 1, а ниже порога — значение 0.

Преобразование изображения в двоичный формат с использованием порога:

$$I(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } I(x, y) \geq T, \\ 0, & \text{если } I(x, y) < T, \end{cases} \text{ где } T \text{ — значение порога.}$$

Локализация знаков. Удаление малых компонентов (Connected Components Analysis).

Цель: Удаление небольших объектов, которые не являются знаками.

Метод: Поиск всех связанных компонент на бинарном изображении и удаление тех, которые меньше заданного порога.

Поиск контуров (Contour Detection).

Цель: Обнаружение границ объектов на изображении.

Метод: Использование алгоритма обнаружения контуров, метод Канни.

Классификация знаков. Формирование признаков (Feature Extraction).

Цель: Извлечение характеристик изображения, которые могут быть использованы для классификации.

Метод: Использование различных подходов, таких как Histogram of Oriented Gradients (HOG).

Градиенты по осям x и y : $G_x = I_{x+1,y} - I_{x-1,y}$, $G_y = I_{x,y+1} - I_{x,y-1}$.

Величина и направление градиента: $M(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$, $\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$.

Классификация с использованием SVM (Support Vector Machine).

Цель: Классификация изображения на основе извлеченных признаков.

Метод: Использование алгоритма опорных векторов, который находит гиперплоскость, максимально разделяющую классы в пространстве признаков.

Гиперплоскость для разделения классов: $f(x) = \text{sign}(\langle w, x \rangle + b)$.

Задача оптимизации: $\min_{w,b,\xi} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i$ при условиях $y_i(\langle w, x_i \rangle + b) \geq 1 - \xi_i$,

$\xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n$, где ξ_i — величины ошибок, C — параметр регуляризации, x_i — вектор признаков, y_i — метка класса.

Таким образом, математические методы, лежащие в основе распознавания графических изображений, включают в себя алгоритмы обработки изображений, анализа форм и классификации с использованием машинного обучения.

Информационная модель системы идентификации объектов окружения

Информационная модель программно-аппаратного комплекса для распознавания графических указателей представляет собой систему, которая включает в себя ряд компонентов, обеспечивающих процесс обнаружения, идентификации и классификации графических указателей в реальном времени. Основными компонентами данной информационной модели являются:

1. Датчики и камеры. Они отвечают за сбор данных о дорожной обстановке, включая изображения графических указателей. Камеры могут быть установлены на мобильном дроне или расположены стационарно вдоль трасс движения.

2. Процессоры и аппаратное обеспечение. Этот компонент отвечает за обработку данных, полученных от датчиков и камер. Процессоры могут быть встроены в камеры

или расположены в центральном блоке управления мобильного дрона.

3. Алгоритмы распознавания и классификации. Эти компоненты обеспечивают анализ изображений графических указателей и их распознавание на основе предварительно обученных моделей машинного обучения или нейронных сетей.

4. База данных графических указателей. В этом компоненте хранится информация о различных типах дорожных знаков, их формах, размерах и других характеристиках, которая используется для сравнения и идентификации обнаруженных знаков.

5. Графический интерфейс пользователя (GUI). Этот компонент предоставляет возможность визуализировать информацию о распознанных дорожных знаках для водителей или операторов системы. GUI может отображать данные на дисплее транспортного средства или в виде отчетов.

6. Система связи и обмена данными. Этот компонент обеспечивает обмен данными между различными элементами системы, а также с внешними системами, такими как центральные диспетчерские пункты или другие транспортные средства.

Структура информационной модели программно-аппаратного комплекса для распознавания дорожных знаков строится на основе взаимодействия этих компонентов. Сбор данных от датчиков и камер передается на обработку процессорам и аппаратному обеспечению, где происходит распознавание и классификация графических указателей с использованием алгоритмов. Затем информация о распознанных указателях сохраняется в базе данных и отображается в графическом интерфейсе пользователя GUI.

На рисунке 1 показан общий путь с момента попадания изображения с указателем на объектив камеры до того, как изображение с распознанным указателем и обозначением будет на экране.

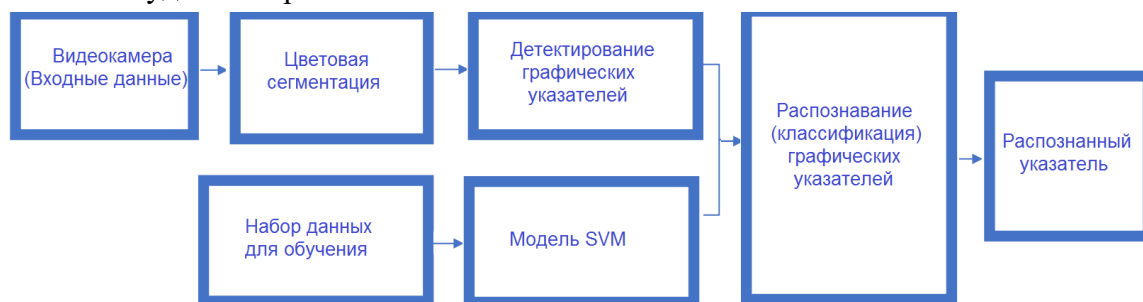


Рис. 1. Общий вид работы комплекса

Fig. 1. General view of the complex operation

На рисунке 2 наглядно показано постоянное взаимодействие элементов комплекса. Также очевидно, что без какого-либо элемента комплекса не получится работать, однако если добавить функции для обработки статических изображений или видеозаписей, то можно обнаружить указатели без некоторых элементов.

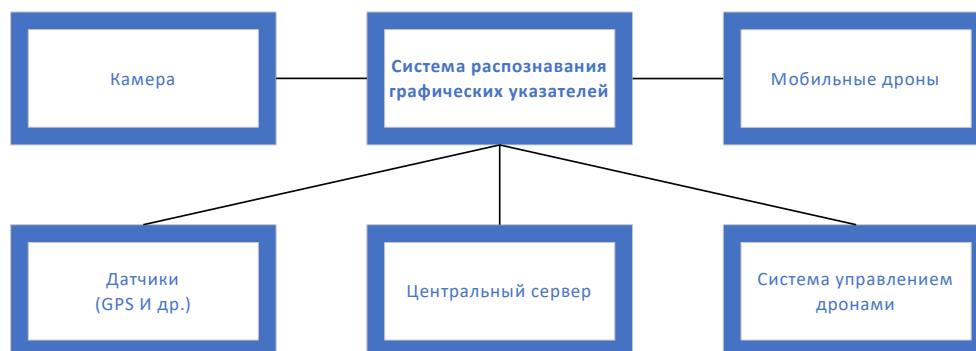


Рис. 2. Взаимодействие компонентов комплекса

Fig. 2. Interaction of the components of the complex

Аппаратная часть в программно-аппаратном комплексе распознавания графических указателей в роли сервера реализуется для следующих операций:

1. Обработка данных. Процесс распознавания графических указателей включает в себя обработку большого объема видеоданных, поэтому аппаратная часть сервера должна обеспечивать быструю и эффективную обработку этих данных. Она не только ускоряет процесс анализа изображений, но и повышает скорость распознавания указателей.

2. Хранение информации. Серверная аппаратура обеспечивает хранение данных, связанных с распознаванием графических указателей. Это важно для дальнейшей обработки и анализа результатов, а также для сохранения истории распознавания указателей в системе.

3. Координация работы системы. Серверная часть комплекса обычно выполняет функцию центрального узла, который координирует работу всех подключенных устройств и обеспечивает взаимодействие между ними. Она контролирует передачу данных, управляет алгоритмами распознавания и обеспечивает общую стабильность работы системы.

Таким образом, аппаратная часть в программно-аппаратном комплексе для распознавания графических указателей в роли сервера играет ключевую роль в обеспечении быстрой и надежной работы системы, что способствует повышению эффективности распознавания.

Как было описано выше, SVM — мощный и гибкий метод машинного обучения, особенно эффективный для задач классификации и регрессии. Его сила заключается в способности находить оптимальные разделяющие гиперплоскости и эффективно работать с высокоразмерными данными, что делает его популярным выбором в различных областях машинного обучения.

На рисунке 3 изображена архитектура модели SVM с использованием ядровой функции для предсказания выходного значения $Q(t)$ на основе множества входных параметров.

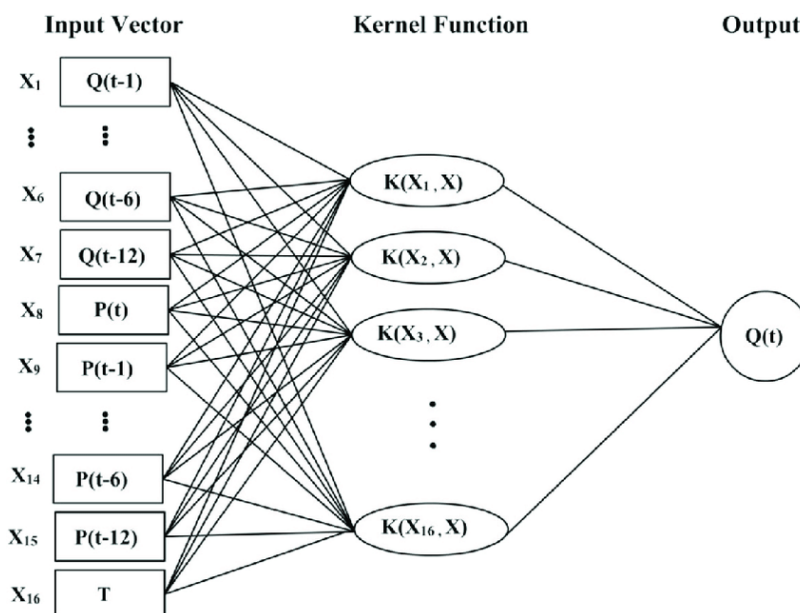


Рис. 3. Структурная схема модели SVM

Fig. 3. Structural diagram of the SVM model

Компоненты изображения

Input Vector (Входной вектор):

Слева представлены входные данные, обозначенные как $X_1, X_2, \dots, X_{16}$. Эти входные данные включают в себя различные параметры, такие как $Q(t-1)$ (предыдущее

значение целевой переменной), $P(t)$ (текущее значение одного из параметров), $P(t-1)$ (предыдущее значение этого параметра), $P(t-6)$, $P(t-12)$.

Kernel Function (Ядровая функция):

Середина структуры представляет собой ядровую функцию $K(X_i, X)$, где X_i — это один из входных векторов.

Ядровая функция позволяет преобразовать данные в более высокоразмерное пространство для нахождения линейного разделения между классами данных. Это делается для того, чтобы можно было применить линейную гиперплоскость в новом пространстве, что не всегда возможно в исходном пространстве.

Output (Выход):

Справа на изображении показан выход модели $Q(t)$, который является результатом работы SVM. Это значение предсказывается на основе входных данных и ядерной функции.

На рисунке 4 показана обобщенная блок-схема работы программы идентификации. Ее особенностью является то, что при распознавании объекта (например, графического указателя) результат будет записываться и при определении, и при ошибке в распознавании в рамках обучения модели.

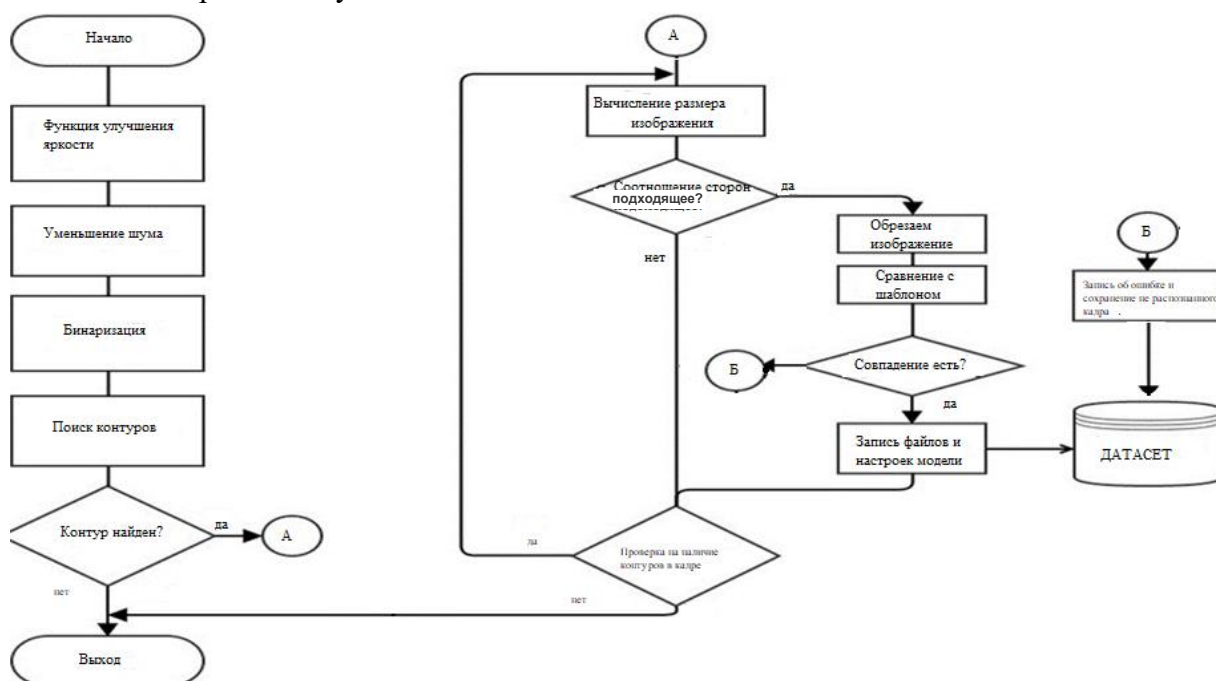


Рис. 4. Блок-схема работы программы идентификации

Fig. 4. Block diagram of the identification program operation

Выводы

Рассматриваемая система идентификации объектов окружения для задач движения дронов в системе мониторинга периметра сельскохозяйственных угодий продемонстрировала высокую точность распознавания графических указателей, достигая 95 % на тестовом наборе данных. Это было достигнуто благодаря использованию современных методов машинного обучения и предварительной обработке изображений.

Среднее время обработки одного кадра составляет 0,02 секунды, что позволяет использовать систему в реальном времени. Система оказалась весьма устойчивой к различным условиям освещения и погодным условиям, что является важным фактором для реальных полевых условий. Она позволила снизить количество персонала, необходимого для функционирования системы мониторинга периметра. Кроме этого, она

обеспечивает мобильность управления и возможность работы как в реальных условиях, так и в виртуальных средах моделирования. Гибкость системы обеспечивается многокомпонентной модульной компоновкой, что дополнительно дает возможность адаптировать систему под конкретный набор задач.

Примечания

1. Костюк А. И., Беспалов Д. А., Романов В. В. Принципы создания системы обработки и хранения GNSS данных для задачи охраны периметра // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2020. Вып. 2 (261). С. 74–79. URL: <http://vestnik.adygnet.ru> (дата обращения: 12.06.2024).
2. Костюк А. И., Шаповал Н. Е. Концептуальная модель базы геоданных объектов // Информационные системы и технологии: фундаментальные и прикладные исследования : сб. ст. II Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов. Таганрог, 2017. С. 448–450.
3. Костюк А. И. Изоморфно-статистическая идентификация изображений // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 6. С. 58–61. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36698> (дата обращения: 12.06.2024).
4. Integration of Models of Adaptive Behavior of Ant and Bee Colony / B. K. Lebedev, O. B. Lebedev, E. M. Lebedeva, A. I. Kostyuk // Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. CSOC2018. Advances in Intelligent Systems and Computing / ed. by R. Silhavy. Springer, 2018. Vol. 764. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196048780> (дата обращения: 16.06.2024).
5. Мельник Э. В., Козловский А. В., Онищенко С. В. Разработка высокопроизводительного метода определения геометрических параметров объектов на изображении // Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 5. С. 86–97.
6. Исследование современных подходов и разработка алгоритма для бесконтактного измерения геометрических параметров объектов на цифровом изображении / А. Н. Самойлов, С. В. Онищенко, А. В. Козловский, А. М. Гарягдыев // Системный синтез и прикладная синергетика : сб. научных работ XI Всерос. науч. конф. Ростов-на-Дону ; Таганрог, 2022. С. 261–266.
7. Исследование возможности внедрения виртуализации в системах управления SmartHouse / А. И. Костюк, М. Ю. Поленов, Е. Р. Мунтян [и др.] // Информатизация и связь. 2015. № 3. С. 72–77.
8. VLSI Planning Based on the Ant Colony Method / B. K. Lebedev, O. B. Lebedev, E. O. Lebedeva, A. I. Kostyuk // Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’17). ITI 2017. P. 388–398. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68321-8_40 (дата обращения: 14.06.2024).
9. Поленов М. Ю., Костюк А. И., Лукьянов В. А. Анализ существующих угроз для безопасности виртуальной среды // Информационные технологии, системный анализ и управление : сб. трудов XII Всероссийской научной конференции. Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2015. Т. 1. С. 76–78.
10. Мунтян Е. Р., Костюк А. И., Лиотвейзен В. В. Особенности виртуальной карты для расчета марша соединений // Инновационное развитие современной науки : сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (14 марта 2015 г., г. Уфа) : в 2 ч. Уфа : Аэтерна, 2015. Ч. 1. С. 49–52.
11. GAPS (GPS Analysis and Positioning Software). URL: <http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php> (дата обращения: 25.05.2020).
12. Самойлов А. Н., Волошин А. В., Козловский А. В. Алгоритмическое обеспечение системы интеллектуальной обработки цифровых изображений для задач прикладной фотограмметрии // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2019. Вып. 3 (246). С. 96–102. URL: <http://vestnik.adygnet.ru> (дата обращения: 12.06.2024).
13. Мельник Э. В., Онищенко С. В., Козловский А. В. Исследование возможности реализации мобильных комплексов для бесконтактного измерения геометрических параметров объектов // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности : сб. ст. VIII Всерос. науч.-техн. конф. Таганрог, 2022. С. 59–62.
14. Kong H., Akakin H. C., Sarma S. E. A generalized laplacian of gaussian filter for blob detection and its applications // IEEE Transactions on Cybernetics. 2013. Vol. 43, No. 6. P. 1719–1733.

References

1. Kostyuk A. I., Bepalov D. A., Romanov V. V. The principles of creating a system for processing and storage of GNSS data for the task of perimeter protection // The Bulletin of the Adyghe State

University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2020. Iss. 2 (261). P. 74–79. URL: <http://vestnik.adygnet.ru> (access date: 12/06/2024).

2. Kostyuk A. I., Shapoval N. E. A conceptual model of a geodatabase of features // Information systems and technologies: fundamental and applied research : collection of articles of the 2nd All-Russian scientific-practical conference of young scientists, graduate students, undergraduates and students. Taganrog, 2017. P. 448–450.

3. Kostyuk A. I. Isomorphic-statistical image identification // Modern High Technology. 2017. No. 6. P. 58–61. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36698> (access date: 12/06/2024).

4. Integration of Models of Adaptive Behavior of Ant and Bee Colony / B. K. Lebedev, O. B. Lebedev, E. M. Lebedeva, A. I. Kostyuk // Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. CSOC2018. Advances in Intelligent Systems and Computing / ed. by R. Silhavy. Springer, 2018. Vol. 764. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196048780> (access date: 16/06/2024).

5. Melnik E. V., Kozlovsky A. V., Onishchenko S. V. Development of a high-performance method for determining the geometric parameters of objects in an image // Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2022. No. 5. P. 86–97.

6. Research of modern approaches and development of an algorithm for contactless measurement of geometric parameters of objects in a digital image / A. N. Samoylov, S. V. Onishchenko, A. V. Kozlovsky, A. M. Garyagdyev // System Synthesis and Applied Synergetics : collection of scientific papers of the 11th All-Russian Scientific Conference. Rostov-on-Don ; Taganrog, 2022. P. 261–266.

7. Investigation of the possibility of implementing virtualization in Smart House control systems / A. I. Kostyuk, M. Yu. Polenov, E. M. Muntyan [at al.] // Informatization and Communication. 2015. No. 3. P. 72–77.

8. VLSI Planning Based on the Ant Colony Method / B. K. Lebedev, O. B. Lebedev, E. O. Lebedeva, A. I. Kostyuk // Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’17). IITI 2017. P. 388–398. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68321-8_40 (access date: 14/06/2024).

9. Polenov M. Yu., Kostyuk A. I., Lukyanov V. A. Analysis of existing threats to the security of the virtual environment // Information Technology, Systems Analysis and Management: proceedings of the 12th All-Russian Scientific Conference. Rostov-on-Don : SFU, 2015. Vol. 1. P. 76–78.

10. Muntyan E. R., Kostyuk A. I., Liotveyzen V. V. Features of a virtual map for calculating the connection march // The Innovative Development of Modern Science : collection of articles of the International scientific-practical conference (March 14, 2015, Ufa) : at 2 pt. Ufa : Aeterna, 2015. Pt. 1. P. 49–52.

11. GAPS (GPS Analysis and Positioning Software). URL: <http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php> (access date: 25/05/2020).

12. Samoylov A. N., Voloshin A. V., Kozlovsky A. V. Algorithmic support of intelligent digital image processing system for applied photogrammetry tasks // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2019. No. 3 (246). P. 96–102. URL: <http://vestnik.adygnet.ru> (access date: 12/06/2024).

13. Melnik E. V., Onishchenko S. V., Kozlovsky A. V. Investigation of the possibility of implementing mobile complexes for contactless measurement of geometric parameters of objects // Fundamental and Applied Aspects of Computer Technologies and Information Security : collection of articles of the 7th All-Russian Scientific and Technical Conference. Taganrog, 2022. P. 59–62.

14. Kong H., Akakin H. C., Sarma S. E. A generalized laplacian of gaussian filter for blob detection and its applications // IEEE Transactions on Cybernetics. 2013. Vol. 43, No. 6. P. 1719–1733.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 13.11.2024; одобрена после рецензирования 20.11.2024; принята к публикации 21.11.2024.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 13.11.2024; approved after reviewing 20.11.2024; accepted for publication 21.11.2024.

© А. Н. Самойлов, А. И. Костюк, Э. В. Мельник,
А. В. Козловский, А. М. Гарягдыев, 2024