

С. А. Атаманов¹, Д. С. Мадис¹✉

Разработка алгоритма автономной обработки материалов беспилотной аэросъемки в целях пространственного развития территорий

¹Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: madis.danila@gmail.com

Аннотация: В статье приведены результаты исследования по разработке и применению алгоритма автономной обработки материалов аэрофотосъемки (АФС), являющегося составной частью автономной беспилотной системы (АБС), в целях решения прикладных задач пространственного развития территорий, землеустройства, кадастров и мониторинга земель Российской Федерации. Представлена технология АФС застроенных территорий с беспилотной авиационной системы (БАС) при проведении комплексных кадастровых работ (ККР) и иных работ по геоинформационному обеспечению национальной системы пространственных данных (НСПД). Особое внимание уделяется процессам планирования и организации АФС с российского программно-аппаратного комплекса аэрофототопографической съемки с использованием беспилотного воздушного судна (БВС) «Геоскан 201». Обработка и оценка результатов проведены в российских сертифицированных программных продуктах с использованием нейронных сетей, а именно в цифровой фотограмметрической системе (ЦФС) «Agisoft Metashape Professional» и системе автоматизированного проектирования (САПР) «NanoCAD».

Ключевые слова: землеустройство, кадастры, мониторинг земель, беспилотные системы, пространственное развитие, геоматика

S. A. Atamanov¹, D. S. Madis¹✉

Development of an algorithm for autonomous processing of unmanned aerial photography materials for spatial development of territories

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation
e-mail: madis.danila@gmail.com

Abstract: The article presents the results of a study on the development and application of an algorithm for autonomous processing of aerial photography materials (AP), which is an integral part of an autonomous unmanned system (AUS), in order to solve applied problems of spatial development of territories, land management, cadastre and monitoring of lands of the Russian Federation. The technology of AP of built-up areas from an unmanned aerial system (UAS) during complex cadastral survey and other work on geoinformation support of the national spatial data system (NSDS) is presented. Special attention is paid to the processes of planning and organizing AP from the Russian software and hardware complex of aerial photography using the «Geoscan 201» unmanned aerial vehicle (UAV). The results were processed and evaluated in Russian certified software products using neural networks, namely the «Agisoft Metashape Professional» Digital Photogrammetric System (DPS) and the «nanoCAD» computer-aided design system.

Keywords: land management, cadastre, land monitoring, unmanned systems, spatial development, geomatics

Введение

Беспилотные системы являются важными инструментами для оперативного получения и постоянного обновления цифровых пространственных данных, а также техническими средствами оценки, управления, планирования и организации пространственного развития территорий.

Человечество стоит на пороге четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0», переход к которой произойдет после массового внедрения цифровых технологий, в особенности АБС. Автономная беспилотная система – это комплекс взаимосвязанных элементов с определенной степенью автономности, состоящий из одного или нескольких специализированных беспилотных транспортных средств (БТС), полезной нагрузки, одной или нескольких станций управления, базирования, обработки пространственных данных, системами безопасности.

Критерии автономности беспилотных систем:

- способность выполнять работу без вмешательства человека, то есть полностью автономно;
- способность выполнять работу с минимальным участием человека, то есть частично автономно;
- возможность обновления элементов системы, без потери ее работоспособности;
- возможность совершенствования составных элементов АБС, без потери ее работоспособности;
- возможность контроля элементов АБС;
- возможность технического обслуживания элементов АБС;
- обеспечение кибербезопасности на современном уровне.

Одним из ярких примеров интеграции беспилотных систем и машинного обучения, пыткой создания АБС, стал умный цифровой двойник территории южного города Шэньчжэнь Китайской Народной Республики (КНР). С помощью методов дистанционного зондирования происходит постоянное обновление цифровой модели местности в реальном времени. На базе двойника функционирует свыше 2000 сервисов и услуг с применением беспилотных систем в транспорте, сельском хозяйстве, доставке товаров, логистики и др.

Этот пилотный проект стал важным шагом в развитии региональной экономики КНР. Аналогичные проекты пытаются внедрить по всему миру, в том числе НСПД в России. Однако рост скорости сбора данных не гарантирует уменьшение времени их обработки и использования. Возникает также проблема переизбытка не востребовавшейся информации, кибербезопасности и национальной безопасности страны [1–4].

Целью исследования служит разработка алгоритма автономной обработки материалов АФС с БВС для пространственного развития территорий. В рамках работы, под алгоритмом понимается совокупность методов и программного обеспечения для цифровой фотограмметрической обработки, функционирующий без участия человека, частично или полностью.

Методы и материалы

Исследования проводились на застроенной территории. Для АФС использовалась российская сертифицированная БАС «Геоскан 201» (табл. 1).

Таблица 1

Этапы планирования и организации первичной аэросъемки с БАС

Этапы	Временные затраты, дней
Получение допуска к государственной тайне на генерального директора (руководителя организации)	30 – 90
Получение допуска к государственной тайне на организацию	30 – 90
Получение допуска к государственной тайне на внешних пилотов	30 – 90
Приобретение средств измерения	10
Поверка средств измерения	10
Получение лицензии Росреестра на геодезическую и картографическую деятельность	10
Постановка на учет (регистрация) БВС	5
Страхование ответственности внешнего пилота БВС перед третьими лицами	2
Получение сертификата эксплуатанта (сертификат летной годности)	5
Поиск заказчиков	-
Проверка возможности проведения АФС, составление технической документации	1
Получение согласований в генеральном штабе, управлении ФСБ по региону, штабе округа, муниципалитете	90
Получение разрешения на использование воздушного пространства (ИВП)	3
Аэросъемка	-
Контрольный просмотр материалов аэросъемки	30
Фотограмметрическая обработка	-
Итого при первой организации АФС	256 – 436
Итого при последующей АФС	124

Получение и использование материалов ДЗЗ из космоса, в отличие от АФС и лазерного сканирования, не требует разрешений. Согласование и проведение первой аэросъемки займет свыше года, при последующей – от 124 дней. Около 95% времени тратится на сложные, нерациональные и неоптимизированные процедуры.

Для определения параметров АФС проанализированы требования к пространственным данным. Приказом Росреестра от 05.04.2022 № П/0122 утверждены «Требования к составу сведений единой электронной картографической

основы (ЕЭКО) и требования к периодичности их обновления», согласно которым на территорию населенных пунктов создаются картографические материалы и ортофотопланы масштаба 1:2000, на территорию городов и с высокой плотностью населения – 1:10000. Периодичность обновления не реже 1 раза в 10 лет по материалам АФС.

ЕЭКО является основой для НСПД и государственной кадастровой оценки (ГКО), то есть для определения величины налогов – стратегической статьи доходов страны. Следовательно, необходимо выполнять АФС с максимальным пространственным разрешением до 5 см, что соответствует масштабу ортофотоплана 1:500. Это советует приказу Росреестра от 23.10.2020 г. № П/0393, которым установлены различные точности определения координат характерных точек объектов недвижимости. Параметры съемки в табл. 2 [5].

Таблица 2

Параметры АФС с БАС

Параметры	Характеристика
БАС	Геоскан 201
Аэрофотокамера	Sony ZV-E10
Фокусное расстояние, мм	20
Тип матрицы	CMOS-матрица Exmor типа APS-C
Размер матрицы, мм	23,5 x 15,6
Размер матрицы, пикселей	5328 x 4000
Пространственное разрешение, см	3
Высота съемки, м	150
Продольное перекрытие, %	80
Поперечное перекрытие, %	70
Продольный базис, м	23
Поперечный базис, м	54
Площадь съемки, га	40
Длина маршрута, км	12
Время полета, минут	20

Результаты

Создание истинного цифрового ортофотоплана, цифровых моделей местности, пространственных моделей, классификация объектов недвижимости, автоматизированное кадастровое дешифрирование выполнено в российской ЦФС «Agisoft Metashape Professional» с использованием открытых нейронных сетей, взятых с интернет-ресурса «GitHub» (<https://github.com/>), а оценка точности произведена в отечественной САПР «NanoCAD» (рис. 1-4) [6 – 9].

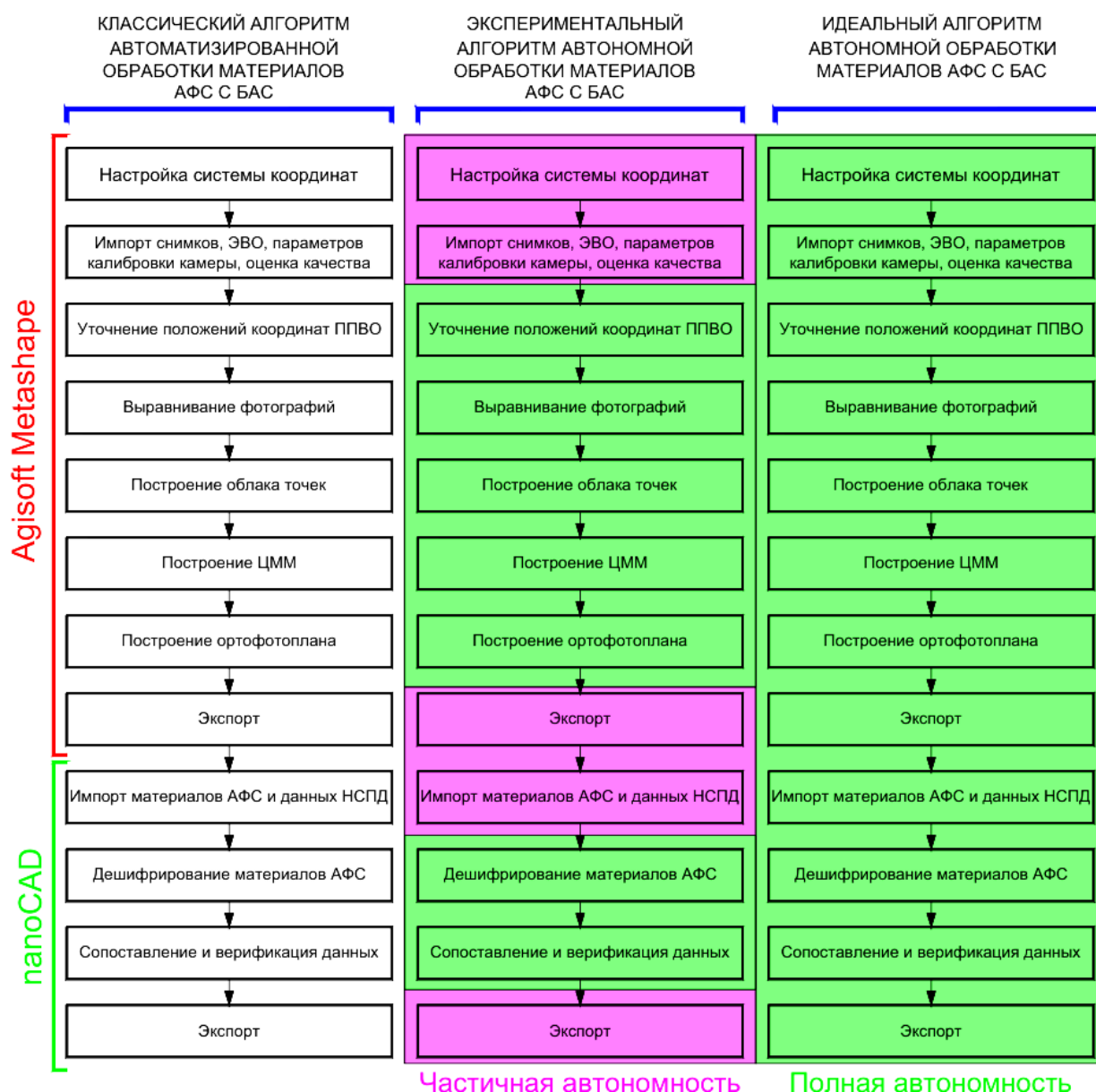


Рис. 1. Сравнение существующего, созданного в ходе исследования и идеального алгоритмов обработки материалов АФС с БАС

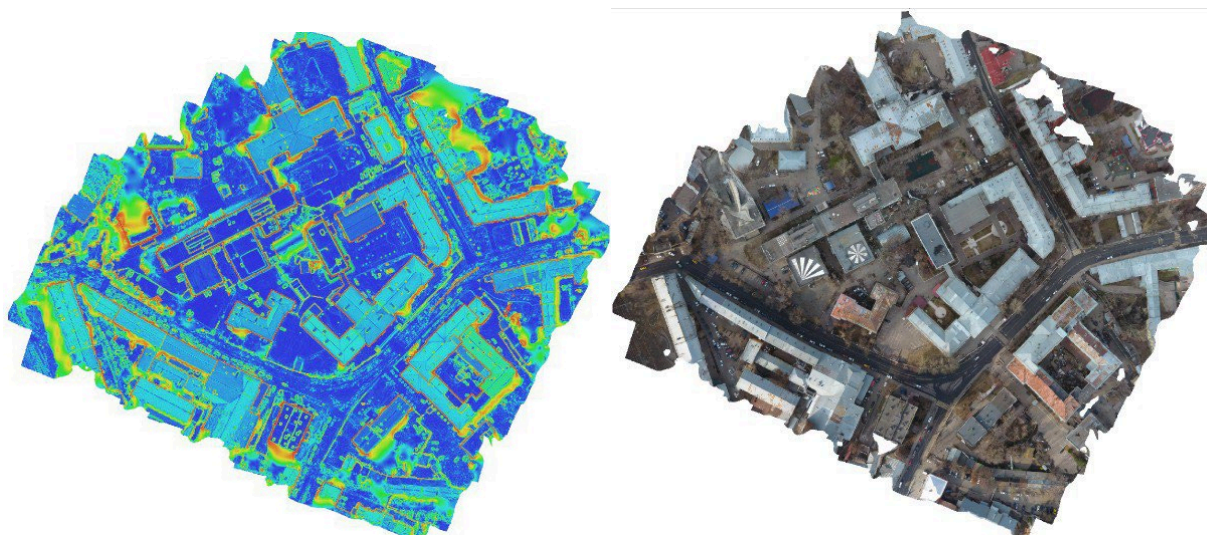


Рис. 2. Цифровая модель местности и истинный цифровой ортофотоплан

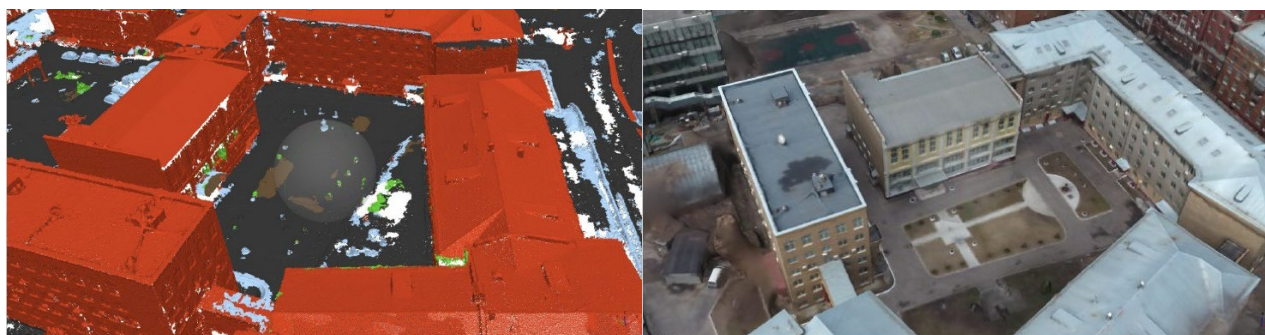


Рис. 3. Классификация облака точек и пространственная модель объекта

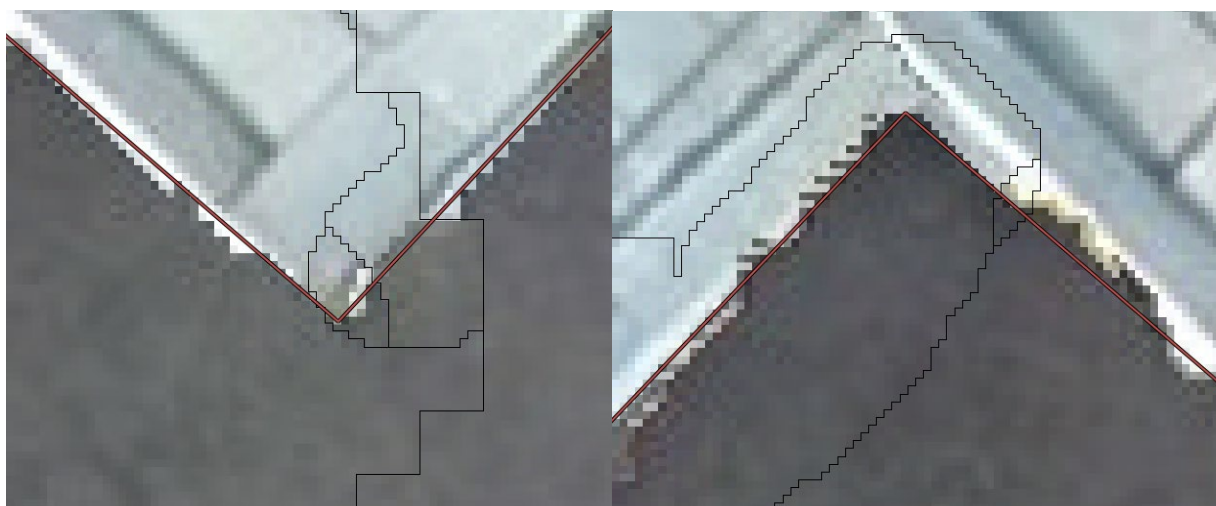


Рис. 4. Пример автоматического кадастрового дешифрирования после классификации облака точек

Благодаря нейронным сетям, были классифицированы границы земельных участков (класс «Заборы»), стены и этажность объектов капитального строительства (класс «ОКС»), а также деревья, газоны, клумбы, дорога, автомобили. В процессе обучения повышалась точность классификации и автоматизированного кадастрового дешифрирования. Особую сложность представляют свесы крыш и древесно-кустарниковая растительность, которые добавляют шумы, загораживают объекты и уменьшает точность (табл. 3).

Таблица 3

Эффективность алгоритма автономной обработки материалов АФС

Показатели	Классический метод (автоматизированный)	Метод с использованием алгоритма
Разработка и тестирование, дней	0	10
Обработка в ЦФС «Agisoft Metashape», дней	1	1
Обработка в САПР «NanoCAD», дней	4	1
Точность в плане, м	0,04	0,06

Обсуждение

Созданный в ходе исследования алгоритм автономной обработки пространственных данных с БАС был модульно апробирован и показал свою эффективность. Однако он требует доработки, поскольку обладает лишь частичной автономностью, не позволяет выполнять задачи без полного отсутствия человека, из-за несовершенства данных нейронных сетей, а именно их математических и структурных алгоритмов.

В советское время аэросъемку выполняли профильные специализированные организации: ВИСХАГИ («Всесоюзный институт сельскохозяйственных и аэрофотогеодезических изысканий»), аэрогеодезические тресты и пр. Росреестр за последние годы закупил свыше 300 БАС «Геоскан» для проведения ККР и ГКО, что увеличило налоговые поступления с недвижимости в 2,5 раза с 2014 г. Однако этого недостаточно для достижения целей стратегии пространственного развития и геоинформационного обеспечения НСПД [1].

Главной проблемой массового внедрения данных алгоритмов является отсутствие нормативно-правовой базы для их сертификации и использования, как средства измерений [9 – 12].

Заключение

Таким образом разработанный алгоритм автономной обработки материалов аэросъемки с беспилотной авиационной системы позволяет значительно автоматизировать работы по геоинформационному обеспечению пространственного

развития территорий. Однако для массового внедрения подобных алгоритмов необходимо провести полный цикл испытаний с последующей сертификацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление проектами и программами геопространственного развития России. Региональные и отраслевые аспекты / Н.В. Комов, С.А. Шарипов, С.И. Носов [и др.]. – Москва: ООО "ВАЛНЕТ-ЦЕНТР", 2022. – 746 с. – ISBN 978-5-504-02040-2. – EDN MOZJTY.
2. Илюшина Т.В. Динамика средоформирующего потенциала рекреационных зон города Самары / Т.В. Илюшина, Л.Д. Джикирба, А.П. Сизов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2024. – № 1(59). – С. 71-77. – DOI 10.25714/MNT.2024.59.010. – EDN UFXUAN.
3. Рябиик А.А. Перспектива использования искусственного интеллекта в гражданской авиации / А.А. Рябиик // Гражданская авиация: реальность и перспективы развития: Сборник материалов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12 февраля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. главного маршала авиации А.А. Новикова, 2025. – С. 124-126. – EDN ETQMZH.
4. Ладыгина В.А. Исследование развития транспортно-цифровых экосистем / В.А. Ладыгина, И.Н. Розенберг // Геоинформационное картографирование в регионах России: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25–28 апреля 2024 года. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2024. – С. 118-123. – EDN LSIPSR.
5. Проблема понятия точности в кадастре недвижимости / С.А. Атаманов, С.А. Григорьев, З.С. Косаруков, М.С. Чуприн // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 2. – С. 65-77. – DOI 10.30533/GiA-2023-010. – EDN ITANIV.
6. Попова Ю.Н. Мобильная робототехника: современность и будущее / Ю.Н. Попова, Т.Х. Мухаметгалеев // Тинчуринские чтения - 2025 «Энергетика и цифровая трансформация»: статьи по материалам Международной молодежной научной конференции. В четырех томах, Казань, 23–25 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 228-232. – EDN NCMQYL.
7. Тихонов Н.Ф. Автономное судоходство: роль искусственного интеллекта и цифровые двойники: моделирование энергетических систем / Н. Ф. Тихонов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 632-637.
8. Бегишев И.Р. На перекрестке права и технологий: критическое осмысление правового регулирования интеллектуальных транспортных систем / И.Р. Бегишев // Транспортное право и безопасность. – 2025. – № 2(54). – С. 185-191. – EDN PESRFG.
9. Севостьянов А.В. Применение беспилотных авиационных систем для управления инвестиционными проектами пространственного развития, землеустройства и природопользования / А.В. Севостьянов, В.А. Костеша, Д.С. Мадис // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы XV Международной научно-практической конференции, Москва, 11 апреля 2025 года. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2025. – С. 169-175. – EDN PIAEIA.
10. Шлаев Д.В. Автономные робототехнические комплексы в цифровом сельском хозяйстве: современное состояние и перспективы развития / Д.В. Шлаев // Аграрная наука - Северо-Кавказскому федеральному округу: Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Ставрополь, 21–22 мая 2025 года. – Ставрополь: Издательско-полиграфический комплекс "АГРУС", 2025. – С. 233-237. – EDN KKFVB.
11. Соловьев Д. Перспективы развития автономных бортовых информационно-управляющих систем для беспилотных летательных аппаратов / Д. Соловьев // Инновационное развитие современной науки: новые подходы и актуальные исследования (шифр - МКИРСН):

Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, Москва, 03 июля 2025 года. – Москва: АНО ДПО «Университет ИТБО», 2025. – С. 124-128. – EDN OULWUF.

12. Портнов А.В. Исследование результатов нейросетевой обработки контуров изображений в автономной системе видео-мониторинга / А.В. Портнов, С.Н. Даровских, А.Н. Николаев // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 20–23 мая 2025 года. – Самара: ООО "АР-ТЕЛЬ", 2025. – С. 115-117. – EDN LXMMHM.

© С. А. Атаманов, Д. С. Мадис, 2026