

УДК 004.8:621.386:339.543

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЛЯ АНАЛИЗА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,
ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ДОСМОТРОВОЙ
РЕНТГЕНОВСКОЙ ТЕХНИКИ
И ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**
Афонин П.Н.

*Санкт-Петербургский имени В.Б.Бобкова филиал
Российской таможенной академии*



**PROSPECTS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TO ANALYZE X-RAY IMAGES OBTAINED
USING X-RAY INSPECTION EQUIPMENT AND INSPECTION COMPLEXES**

Afonin P.N.

Saint-Petersburg Branch named after V.B. Bobkov of Russian Customs Academy

Аннотация

В статье исследуется потенциал применения искусственного интеллекта (ИИ) для анализа рентгеновских изображений, получаемых с помощью досмотровой рентгеновской техники и инспекционно-досмотровых комплексов (ИДК). Рассмотрены основные задачи, решаемые с помощью ИИ в данной области, а также проанализированы методы машинного обучения и глубокого обучения, применимые для автоматизации процесса анализа рентгеновских изображений. Обсуждаются преимущества и вызовы, связанные с внедрением ИИ в практику таможенного контроля, а также перспективы дальнейших исследований в данной сфере.

Ключевые слова: искусственный интеллект, рентгеновские изображения, досмотровая техника, инспекционно-досмотровые комплексы, машинное обучение, глубокое обучение, компьютерное зрение, таможенный контроль, автоматизация.

Abstract

The article explores the potential of using artificial intelligence (AI) to analyze X-ray images obtained using X-ray inspection equipment and inspection and inspection complexes (IDCs). The main tasks solved by AI in this field are considered, as well as machine learning and deep learning methods used to automate the process of analyzing X-ray images are analyzed. The advantages and challenges associated with the introduction of AI into the practice of customs control, as well as prospects for further research in this area, are discussed.

Keywords: artificial intelligence, X-ray images, inspection equipment, inspection and inspection complexes, machine learning, deep learning, computer vision, customs control, automation.

Ссылка для цитирования: Афонин П.Н. Перспективы использования искусственного интеллекта для анализа рентгеновских изображений, получаемых с помощью досмотровой рентгеновской техники и инспекционно-досмотровых комплексов // Бюллетень инновационных технологий. – 2025. – Т. 9. – № 1 (33). – С. 49-52. – EDN CTVFQZ.

Введение

Рентгеновское сканирование является одним из наиболее эффективных методов неразрушающего контроля, используемых в таможенных органах, аэропортах и других пунктах досмотра для выявления контрабанды, запрещённых предметов и опасных материалов. Однако ручной анализ рентгеновских изображений является трудоёмким процессом, требующим от операторов высокой квалификации и внимательности, что

может приводить к ошибкам и пропускам. Внедрение систем на основе искусственного интеллекта (ИИ) для автоматизации анализа рентгеновских изображений открывает новые возможности для повышения эффективности досмотра, сокращения времени контроля и снижения нагрузки на персонал. Данная статья посвящена исследованию возможностей использования ИИ для анализа рентгеновских изображений,

получаемых с помощью досмотровой рентгеновской техники (далее – ДРТ) и инспекционно-досмотровых комплексов (далее – ИДК).

Исследованию возможностей применения ДРТ и ИДК посвящен целый ряд авторских работ [1, 2, 3] и результатов научной деятельности других авторов, среди которых особенно следует отметить Д.Н.Афони́на, В.А.Зубова, П.Н.Башлы, В.П.Вербова, создавших серьезный методологический задел [4, 5, 6], обеспечивающий возможность эффективного применения рассматриваемых технологий для реализации функций таможенных органов, обеспечения высококачественной системы подготовки операторов рентгеновской техники в Российской таможенной академии и ее филиалах.

Обзор рентгеновской техники и ИДК

Разнообразие задач неразрушающего контроля, зависящее от размера, типа, условий сканирования объектов таможенного контроля определило, в свою очередь, задачу унификации методов анализа рентгеновских изображений, основным алгоритмом которого является установление признаков нарушения законодательства на основе исследования формы, цвета, местоположения объектов, а также иных принципов, таких как, например, симметричность. К сопоставительным особенностям ДРТ следует отнести использование в качестве генерирующего источника ионизирующего излучения рентгеновской трубки, тогда как в ИДК используются различного типа ускорительные системы, работающие на больших, по сравнению с ДРТ, энергиях, что позволяет и, соответственно, увеличивать глубину проникновения формируемых рентгеновских лучей, а также сканировать крупные объекты, такие как транспортные средства и контейнеры, единицы подвижного состава на железных дорогах [7]. При этом форматы хранения изображения, с учетом зависимости от физических принципов их получения, а также инженерных особенностей реализации – размера детекторных чувствительных элементов, материалов, из которых они выполнены и иных характеристик, можно разделить на «сырые» форматы (raw-formats) и пользовательские форматы, среди которых могут быть чисто графические форматы, такие как tiff, jpg, так и специализированные как, например, UFF формат, последова-

тельно продвигаемый для межведомственного и международного обмена Всемирной таможенной организацией [8].

Определяя круг задач, решаемых с использованием ДРТ и ИДК можно обобщенно рассматривать в качестве типичных опасных, с позиций национальной безопасности, объектов наркотики, оружие, взрывчатые вещества. Опасными с точки зрения экономической безопасности следует считать объекты контрабанды, контрафактные товары, иные объекты, перемещаемые с нарушением установленных в их отношении запретов и ограничений. В контексте такой унификации можно определить и общие задачи применения искусственного интеллекта для анализа рентгеновских изображений:

- автоматическая классификация объектов: идентификация различных типов объектов на рентгеновских снимках (продукты питания, одежда, электроника, металл и т. д.);
- обнаружение аномалий: выявление подозрительных или необычных предметов, спрятанных внутри багажа или грузов;
- сегментация объектов: разделение рентгеновского изображения на области, соответствующие различным объектам;
- трехмерная реконструкция: создание трехмерных моделей объектов на основе рентгеновских изображений для более детального анализа.

С позиций применимости разновидностей искусственного интеллекта можно выделить методы машинного обучения и методы глубокого обучения, которые, в зависимости от возможностей, условий и типологии задач можно применять для автоматического распознавания образов на получаемых с помощью ДРТ и ИДК рентгеновских изображениях. Сами по себе методы машинного обучения также делятся на:

- обучение с учителем и без учителя;
- методы классификации: метод опорных векторов (SVM), случайный лес (Random Forest), логистическая регрессия;
- методы кластеризации: K-средних, DBSCAN.

Особый интерес для анализа изображений представляют также свёрточные нейронные сети (CNN), в архитектуре которых могут рассматриваться AlexNet, VGG, ResNet, Inception. В тоже время, нейронные сети, призванные по своему функционалу имитировать когнитивные функции человека, должны получать для своего анализа

изображения, предварительно обработанные теми или иными фильтрами, что может быть реализовано с помощью соответствующих функций активации и средств оптимизации. Например, особую популярность у операторов ИДК российского производства приобрели графические фильтры, осуществляющие обработку изображений по функционалу, похожему на логарифмический.

Нестабильность условий сканирования в случае мобильного применения ИДК как на открытых площадках, так и на дорогах общего пользования определяет существенную нестабильность и получаемых рентгеноскопических изображений, что требует применения:

- автоэнкодеров для уменьшения размерности и генерации изображений;
- рекуррентных нейронных сетей (RNN) для обработки последовательностей изображений;
- генеративно-состязательных сетей (GAN) для генерации синтетических данных.

Методы сегментации и обнаружения объектов на изображениях включают в себя: U-Net, Mask R-CNN и другие архитектуры для сегментации. Среди методов обнаружения объектов можно выделить YOLO, SSD.

Известно, что качество исходных рентгеновских изображений также оказывает существенное влияние на эффективность распознавания на них тех или иных образов объектов. Для оценки качества моделей ИИ для анализа рентгеновских изображений можно использовать:

- метрики классификации: точность, полнота, F1-мера, AUC-ROC;
- метрики сегментации: IoU (отношение пересечения к объединению), оценка Dice;
- метрики обнаружения: точность, полнота, AP (средняя точность), mAP (средняя точность).

Проблемы и вызовы внедрения ИИ для анализа рентгеновских изображений, получаемых с помощью ДРТ и ИДК

Повышение размерности задач, решение которых становится доступным с использованием ДРТ и ИДК определяет соответствующий блок исследований, связанных с необходимостью преодоления проблем, к которым можно отнести:

- недостаток размеченных данных: ограниченное количество размеченных

рентгеновских изображений для обучения моделей ИИ;

- сложность распознавания сложных объектов: распознавание объектов нестандартной формы или скрытых внутри других объектов является сложной задачей для ИИ;

– разнообразие форматов изображений: различные типы ДРТ и ИДК могут обеспечивать сохранение изображений в разных форматах, что усложняет создание универсальных моделей ИИ;

- необходимость валидации и тестирования: тщательное тестирование и валидация моделей ИИ для обеспечения их надежности и точности;

– интерпретируемость решений ИИ: необходимо понимание того, как ИИ принимает решения, и возможность объяснить его выводы операторам.

Преимущества использования ИИ для анализа рентгеновских изображений, получаемых с использованием ДРТ и ИДК:

- повышение эффективности таможенного контроля: автоматизация анализа изображений позволяет ускорить процесс осуществления таможенных операций и снизить нагрузку на операторов;

– повышение точности выявления: ИИ способен выявлять подозрительные объекты с большей точностью, чем человек;

- снижение влияния человеческого фактора: автоматизация снижает вероятность ошибок, связанных с усталостью или невнимательностью операторов;

– повышение уровня безопасности: ИИ позволяет более эффективно выявлять контрабанду, наркотики, оружие и другие опасные предметы, что способствует повышению уровня безопасности;

- экономия ресурсов: сокращение времени досмотра и уменьшение количества ручных проверок позволяют экономить ресурсы таможенных органов и других пунктов досмотра.

– масштабируемость: возможность легко масштабировать системы анализа изображений на основе ИИ для обработки больших объемов данных.

Перспективы дальнейших исследований:

- разработка новых моделей ИИ: разработка более совершенных и точных моделей ИИ, способных решать сложные задачи распознавания объектов на рентгеновских снимках;

– улучшение качества данных: увеличение объема размеченных данных для обучения моделей ИИ, а также разработка методов обработки нечетких и неполных данных;

– использование методов 3D-реконструкции: развитие методов трехмерной реконструкции объектов на основе рентгеновских изображений для более точного анализа;

– интеграция ИИ с другими технологиями: интеграция систем на основе ИИ с другими технологиями досмотра, такими как сканеры химических веществ, детекторы взрывчатых веществ и т. д.;

– разработка стандартов и протоколов: разработка стандартов и протоколов для использования ИИ в сфере досмотра и контроля.

Список литературы

1. Афонин П.Н. Применение инспекционно-досмотрового комплекса обратного рассеяния при осуществлении таможенного контроля // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2024. – № 3(91). – С. 9-14. – EDN GPONOI.

2. Афонин П.Н., Табаков А.В. Применение инспекционно-досмотровых комплексов для выявления и пресечения контрабанды наркотиков в ходе таможенного контроля // Вестник Российской таможенной академии. – 2021. – № 2(55). – С. 32-37. – EDN WHMNZK.

3. Афонин П.Н., Афонин Д.Н. Основы применения технических средств таможенного контроля: Учебник. – Санкт-Петербург: Российская таможенная академия, РИО Санкт-Петербургского имени В. Б. Бобкова филиала, 2018. – 302 с. – ISBN 978-5-9590-0950-2. – EDN TWAMVB.

4. Афонин Д.Н. Применение рентгеновских сканеров для выявления внутрисполостного сокрытия наркотических средств // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2017. – Т. 13, № 3(348). – С. 563-572. – DOI 10.24891/ni.13.3.563. – EDN YHGRF.

Заключение

Исследование возможностей использования искусственного интеллекта для анализа рентгеновских изображений, получаемых с помощью ДРТ и ИДК, демонстрирует высокий потенциал для совершенствования процессов досмотра и контроля. Внедрение ИИ позволяет повысить эффективность выявления запрещённых предметов, снизить нагрузку на операторов, а также повысить уровень безопасности. Дальнейшие исследования в этой области направлены на разработку более совершенных моделей ИИ, улучшение качества данных и решение проблем, связанных с интерпретируемостью решений ИИ.

5. Афонин Д.Н., Афонин П.Н., Гамидуллаев С.Н. и др. Анализ информации, полученной с использованием ИДК: Учебно-наглядное пособие. – Санкт-Петербург: РИО Санкт-Петербургского филиала Российской таможенной академии, 2019. – 110 с.

6. Башлы П.Н., Вербов В.Ф. Новая классификация инспекционно-досмотровых комплексов как средство повышения эффективности их применения // Вестник Российской таможенной академии. – 2017. – № 4. – С. 93-100. – EDN ZWKXQD.

7. Афонин П.Н., Афонин Д.Н., Зубов В.А. и др. Распознавание образов при таможенном контроле с применением ИДК и ДРТ: Монография. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии, 2017. – 220 с. – EDN QHYGAL.

8. Афонин П.Н. Обмен файлами изображений, полученных с помощью ИДК, как ключевой элемент взаимного признания результатов таможенного контроля в странах - членах Всемирной таможенной организации // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2016. – № 3(59). – С. 8-11. – EDN YJBPPF.

Поступила в редакцию 22.01.2025

Сведения об авторе:

Афонин Петр Николаевич – заместитель директора (по научной работе), профессор кафедры таможенного дела, Санкт-Петербургского имени В.Б.Бобкова филиала Российской таможенной академии, доктор технических наук, доцент, e-mail: pnafonin@yandex.ru

