

УДК 339.543.2

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ АНАЛИЗА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
КОНТЕЙНЕРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ****Афонин Д.Н.***Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал
Российской таможенной академии***THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR THE ANALYSIS
OF X-RAY IMAGES OF CONTAINERS AND VEHICLES****Afonin D.N.***St. Petersburg named after V.B. Bobkov Branch of the Russian Customs Academy***Аннотация**

Применение искусственных нейронных сетей для анализа рентгеновских изображений контейнеров и транспортных средств позволяет улучшить точность и скорость распознавания, что в свою очередь повышает эффективность таможенного контроля и способствует более быстрому и надежному контролю грузов. Данные технологии также помогают сократить риски, связанные с контрабандой и террористическими угрозами. Использование искусственных нейронных сетей в данной области также способствует уменьшению человеческого фактора и минимизации ошибок при обработке большого объема данных. Кроме того, это позволяет сэкономить время и ресурсы для таможенных органов и повысить уровень безопасности и контроля на границе. Таким образом, развитие и применение искусственных нейронных сетей в распознавании рентгеновских изображений контейнеров и транспортных средств является важным шагом к совершенствованию таможенной службы и обеспечению безопасности перевозок.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, таможенный контроль, распознавание образов, контейнеры, транспортные средства.

Abstract

The use of artificial neural networks for the analysis of X-ray images of containers and vehicles makes it possible to improve the accuracy and speed of recognition, which in turn increases the efficiency of customs control and contributes to faster and more reliable cargo control. These technologies also help reduce the risks associated with smuggling and terrorist threats. The use of artificial neural networks in this area also helps to reduce the human factor and minimize errors when processing large amounts of data. In addition, it saves time and resources for customs authorities and increases the level of security and control at the border. Thus, the development and application of artificial neural networks in the recognition of X-ray images of containers and vehicles is an important step towards improving the customs service and ensuring transportation safety.

Keywords: artificial neural networks, customs control, pattern recognition, containers, vehicles.

Ссылка для цитирования: Афонин Д.Н. Применение искусственных нейронных сетей для анализа рентгеновских изображений контейнеров и транспортных средств // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 2(30). – С. 5-9. – EDN LVXHQU.

Ежегодно через российские порты проходит около семи миллионов морских контейнеров, доставляемых из различных зарубежных стран и направляемых в Российские и зарубежные порты. Несмотря на снижение транзита (по результатам 2022 года, контейнерооборот в России составил 4,31 млн TEU, что на 30.63% меньше, чем в предыдущем году (5,63 млн TEU), контейнерные перевозки составляют существенную часть морских перевозок [1, 2]. Рост контейнерного оборота приводит к увеличению рисков для экономической (и не только) безопасности, поскольку любой контейнер

потенциально может быть использован злоумышленниками для контрабанды. Контрабандные товары могут быть сокрыты как среди законно перемещаемых через границу грузов, так и в конструктивных элементах контейнеров (например, в полу, стенах, рефрижераторной установке, силовых элементах, в элементах поддонов и т.д.). Выявление и предотвращение данного вида преступной деятельности является особенно сложной задачей, поскольку с одной стороны оно не должно тормозить перемещение грузов, а с другой быть максимально эффективным. Провести таможенный до-

смотр значительной части контейнеров невозможно: процесс длительный, длительный и дорогостоящий [3]. Вместо этого обнаружение незадекларированных товаров основывается на сочетании анализа рисков [4], неинвазивной рентгеновской интроскопии с использованием ИДК и, в качестве последнего средства, таможенного досмотра [5].

Анализ рентгеновских изображений контейнеров и транспортных средств является сложной задачей для должностных лиц таможенных органов [6]. Объекты контроля часто перегружены различными товарами, внешний которых может напоминать подозрительные предметы. Кроме того, в отличие от видимых предметов, предметы, отображаемые на экране при рентгеновской интроскопии, кажутся полупрозрачными и могут накладываться друг на друга, что существенно усложняет их интерпретацию. Таким образом, для анализа всех изображений, которые могут быть получены в условиях постоянно растущего потока контейнеров может потребоваться гораздо большее соответствующим образом обученных операторов анализа изображений. С другой стороны, в настоящее время достаточно широко применяются технологии так называемого машинного зрения, однако их применение к рентгеновским изображениям (за пределами биомедицинских приложений) часто ограничивается технологиями обработки и улучшения изображений.

В настоящее время достаточно большой интерес вызывает применение искусственных нейронных сетей для анализа рентгеновских изображений, полученных на ИДК и досмотровых рентгеновских аппаратах. Можно рассмотреть две основные группы фреймворков, разрабатываемых для анализа рентгеновских изображений: проверка контейнеров на порожняк и обнаружение опасных объектов. Проверка контейнеров на незаполненность применяется для фильтрации и отсеивания при сплошном контроле изображений порожних контейнеров, которые не нуждаются в проверке на наличие запрещенных или ограниченных к перемещению предметов. Обычно таких контейнеров около 20% в общем потоке. С другой стороны, данная технология позволяет выявлять контейнеры, заполненные товарами, но задекларированные как пустые [7].

Так, разработаны технологии «отсекания контейнера» и генерации «гистограммы

грузового региона». При этом сравниваются ключевые показатели (минимальное, среднее, стандартное отклонения и т.п.), полученные в ходе исследования, с эталонным набором данных, полученных при сканировании стандартного пустого контейнера. Автоматическая «сегментация» контейнера на элементы (пол, стены, крыша) позволяет с точностью до 97,2% идентифицировать пустые контейнеры [8].

Многоклассовая идентификация товаров позволяет идентифицировать содержимое контейнеров, основываясь на кодах ТН ВЭД. Для каждого кода ТН ВЭД формируется ее модель на основе гистограммы серого изображения. Применение данной методики позволяет идентифицировать до 48% классов товаров. Лучшие результаты были получены при использовании фильтров Леунга-Малика. Однако, данные технологии не применимы к контейнерам. Заполненным менее чем на 50% [9].

Распознавание материала предметов, находящихся в контейнерах, выполняется путем сравнения изображений, полученных при сканировании объекта контроля рентгеновским излучением с различной энергией. При этом вычисляется эффективный атомный номер материала. Данная технология лежит в основе формирования на экране псевдоцветных изображений предметов, находящихся в объекте контроля. Использование двухэнергетической технологии также позволяет значительно повысить и эффективность работы искусственных нейронных сетей для выявления опасных, преимущественно металлических, предметов с высоким эффективным атомным номером, уменьшить количество ложных срабатываний по сравнению с нейронными сетями, ориентированными на одноэнергетические технологии. Применение четырехканального ввода информации в искусственную нейронную сеть, включающего сумму и разность изображений с высоким и низким энергопотреблением вместе с логарифмическим преобразованием изображений с высоким и низким энергопотреблением, обеспечивает наилучшую производительность с точки зрения количества ложных срабатываний при фиксированных показателях обнаружения 95% и 99% [10].

Для обучения искусственных нейронных сетей распознаванию опасных объектов применяются различные наборы данных. Наиболее известны из них следующие:

1. Durham Baggage (DB) Patch/Full Image Dataset [11] - содержит 15449 рентгеновских изображений, полученных с помощью Smiths 6040i. Набор включает в себя 494 камеры, 1596 керамических ножей, 3208 ножей, 3192 образцов огнестрельного оружия, 1203 деталей огнестрельного оружия, 2390 ноутбуков и 3366 изображений обычных, неопасных предметов.

2. Набор рентгеновских данных Grima (GDXRAY) [12] содержит 19407 образцов рентгеновских снимков.

3. Набор данных UCLTIP [13] содержит 120000 изображений багажа, отсканированных с помощью Rapiscan R60, включая 5000 изображений опасных предметов, которые проецируются на изображения багажа с применением специального алгоритма.

4. Набор данных SIXray [14] содержит 1059231 рентгеновских снимков, 8929 из которых вручную разбиты на 6 различных классов: пистолет, нож, гаечный ключ, плоскогубцы, ножницы, молоток и фон.

5. Durham Baggage Anomaly Dataset – DBA [15] содержит 230275 фрагментов рентгеновских снимков, включая 3 группы опасных объектов - нож (63 496), пистолет (45 855) и компонент оружия (13 452).

6. Full firearm vs Operational Benign – FFOB [16] - набор данных содержит 4 680 изображений огнестрельного оружия и 67672 изображений обычных, неопасных предметов.

7. Набор данных Compass – XP [17] включает 1901 рентгеновское изображение и соответствующие им фотографии объектов.

8. Набор данных OPIXray [18] содержит 8885 рентгеновских снимков (7019 обучающих, 1776 тестовых) пяти острых предметов, включая складные ножи (1993), столовые ножи (1044), ножницы (1863), хозяйственные ножи (1978) и многофункциональные ножи (2042).

Данные наборы данных используются как для обучения операторов анализа изображений [19], так и для моделей машинного обучения. Принцип работы заключается в проецировании бинарной маски изображения опасного предмета в различных проекциях на рентгеновское изображение объекта, не содержащего опасных предметов, что приводит к получению выходного рентгеновского изображения с элементом угрозы.

Классификация объектов в искусственных нейронных сетях осуществляется как в

выполнении извлечения признаков с помощью дескрипторов, кластеризации признаков, методов классификации или разреженного представления, так и сегментации объектов. Различают упрощенную сегментацию на основе пикселей с фиксированным абсолютным порогом и группировкой областей и использование алгоритмов сегментации на основе графов. В ранних работах исследовались расстояния подобия между атрибутивными реляционными графами [20], в то время как более поздние исследования посвящены спектральной кластеризации и вариационной сегментации изображений [21].

Относительно большие наборы данных, такие как SIXray, FFOB, сильно ориентированы на определенные классы опасных объектов, что ограничивает возможности обучения искусственных нейронных сетей распознаванию образов. Кроме того, большинство из них получены на досмотровых рентгеновских аппаратах и не содержат изображений контейнеров и транспортных средств. Следовательно, важно создавать большие, однородные, реалистичные и общедоступные наборы данных, собранные либо путем ручного сканирования многочисленных объектов (в том числе контейнеров и транспортных средств) с различными предметами и в разных проекциях в лабораторных условиях, либо генерации синтетических наборов данных с помощью современных алгоритмов.

У обоих методов есть свои преимущества и недостатки. Хотя ручной сбор данных позволяет собирать реалистичные образцы с гибкостью для получения любой комбинации, его формирование довольно дорого, требует огромных человеческих усилий и времени. Сгенерированные же синтетические изображения не всегда реалистичны.

Таким образом, применение искусственных нейронных сетей для распознавания рентгеновских изображений контейнеров и транспортных средств в настоящее время вызывает достаточно большой интерес и постоянно совершенствуется.

Данная технология может значительно повысить эффективность таможенного контроля, увеличивая точность и скорость обнаружения запрещенных или ограниченных для трансграничного перемещения товаров. Кроме того, использование искусственных нейронных сетей может снизить вероятность ошибок, связанных с усталостью операторов анализа изображений или человеческим фактором.

С развитием технологий машинного обучения и глубокого обучения, а также с увеличением объема данных, нейронные сети становятся все более точными и эффективными. Они могут быть обучены распознавать различные объекты на изображениях, а также находить отклонения или аномалии в данных.

Список литературы

1. Контейнерооборот России: итоги 2022 г. // Optimalog: [сайт]. – 2023. – URL: optimalog.ru/articles/novosti-otrasli/konteynerooborot-rossii-itogi-2022-g/

2. Афонин Д. Н., Афонин П. Н. Исследование психофизиологических факторов, определяющих эффективность деятельности операторов анализа изображений // Bulletin of the International Scientific Surgical Association. – 2017. – Т. 6, № 1. – С. 26-28. – EDN XYBLZP.

3. Афонин Д. Н. Биомеханика нарушений опорно-двигательной и дыхательной систем у операторов анализа изображений инспекционно-досмотровых комплексов и досмотровых рентгеновских аппаратов // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7, № 3(27). – С. 47-51. – EDN AGHLBN.

4. Афонин Д. Н., Афонин П. Н. Система управления рисками таможенных органов Российской Федерации. – Москва-Берлин: ООО «Директ-Медиа», 2022. – 176 с. – ISBN 978-5-4499-2783-5. – DOI 10.23681/622013. – EDN SITFJL.

5. Афонин Д. Н. Таможенный досмотр товаров и транспортных средств. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2020. – 124 с. – ISBN 978-5-4365-6331-2. – EDN JNUTQB.

6. Анализ информации, полученной с использованием ИДК: Учебно-наглядное пособие / Д. Н. Афонин, П. Н. Афонин, С. Н. Гамидуллаев [и др.] ; Российская таможенная академия, Санкт-Петербургский имени В. Б. Бобкова филиал. – Санкт-Петербург: РИО Санкт-Петербургского филиала Российской таможенной академии, 2019. – 110 с. – ISBN 978-5-9590-1082-9. – EDN KWDWRK.

7. Jaccard N., Rogers T. W., Morton E. J., Griffin L. D. Tackling the x-ray cargo inspection challenge using machine learning // Proc. SPIE 9847, Anomaly Detection and Imaging with X-Rays (ADIX). – 12 May 2016. – P. 98470N. – DOI 10.1117/12.2222765.

8. Tuszynski J., Briggs J. T., Kaufhold J. A method for automatic manifest verification of container cargo using radiography images // J. Transp. Secur. – 2013. – V. 6, N 4. – P. 339-356.

9. Flitton G., Mouton A., Breckon T. P. Object classification in 3D baggage security computed tomography imagery using visual codebooks // Pattern Recognit. – 2015. – V. 48, N. 8. – P. 1-11.

В целом, использование искусственных нейронных сетей для распознавания рентгеновских изображений при таможенном контроле может существенно повысить уровень экономической безопасности страны.

10. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Communications of the ACM. – 2012. – N. 60. – P. 84 - 90.

11. Akqay S., Kundegorski M. E., Devereux M., Breckon T P. Transfer Learning Using Convolutional Neural Networks for Object Classification within X-ray Baggage Security Imagery // International Conference on Image Processing (ICIP). – IEEE. – 2016. – P. 1057-1061.

12. Mery D., Rizzo V., Zscherpel U. et al. GDXray: The Database of X-ray Images for Nondestructive Testing // Journal of Nondestructive Evaluation. – 2015. – N. 34. – P. 42.

13. Jaccard N., Rogers T. W., Morton E. J., Griffin L. D. The X-ray Cargo Inspection Challenge Using Machine Learning // Anomaly Detection and Imaging with X-Rays. – SPIE. – 2016. – V. 9847. – P. 98470N.

14. Miao C., Xie L., Wan et al. A Large-scale Security Inspection X-ray Benchmark for Prohibited Item Discovery in Overlapping Images // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – IEEE. – 2019. – P. 214-218.

15. Akcay S., Atapour-Abarghouei A., Breckon T. P. GANomaly: Semi-supervised Anomaly Detection via Adversarial Training // Asian Conference on Computer Vision - ACCV, Springer. – 2019. – P. 622-637.

16. Centre for Applied Science and Technology (CAST), OSCT Borders X-ray Image Library. – Technical Report. – UK Home Office. – 2016. – 216 p.

17. Caldwell M., Griffin L. D. Limits on transfer learning from photographic image data to X-ray threat detection // Journal of X-Ray Science and Technology. – 2019. – N 4. – P. 1-14.

18. Wei Y., Tao R., Wu Z. et al. Occluded Prohibited Items Detection: An X-ray Security Inspection Benchmark and De-occlusion Attention Module // Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia, ACM, NY, USA. – 2020. – P. 138-146.

19. Cutler V., Paddock S., Use Of Threat Image Projection (TIP) To Enhance Security Performance // International Carnahan Conference on Security Technology. – IEEE. – 2009. – P. 46-51.

20. Wang L., Li Y., Ding J., Li K. Structural X-ray Image Segmentation for Threat Detection by Attribute Relational Graph Matching // 2005 International Conference on Neural Networks and Brain. – IEEE. – 2005. – P. 1206-1211.

21. Mallia-Parfitt N., Giasemidis G. Graph clustering and variational image segmentation for automated firearm detection in X-ray images // IET Image Processing. – 2019. – N. 13. – 1105-1114.

Поступила в редакцию 20.03.2024

Сведения об авторе:

Афонин Дмитрий Николаевич – профессор кафедры таможенных операций и таможенного контроля Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, доктор медицинских наук, доцент, e-mail: dnafonin@gmail.com



Электронный научно-практический журнал "**Бюллетень инновационных технологий**" (ISSN 2520–2839) является сетевым средством массовой информации регистрационный номер Эл № ФС77-73203 по вопросам публикации в Журнале обращайтесь по адресу bitjournal@yandex.ru