

ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ В ЛІНІЙНИХ ТЕРАГЕРЦОВИХ СИСТЕМАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

М. Ю. Ковбаса, к. ф.-м. н. О. Г. Голенков, д. ф.-м. н. Ф. Ф. Сизов

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАНУ
Україна, м. Київ
nikolay.kovbasa@isp.kiev.ua

Запропоновано рішення для автоматичної ідентифікації прихованих об'єктів із використанням терагерцового сканера. З метою навчання згорткової нейронної мережі для класифікації та виявлення наявності або відсутності заборонених елементів на зображенні був використаний набір терагерцових зображень. Для тестування системи використовувалися реальні дані, в результаті чого рівень точності ідентифікації становив 95,5%. Це підкреслює успішне впровадження нейронних мереж у терагерцових системах сканування, демонструючи їхній потенціал для застосування у сферах безпеки та спостереження.

Ключові слова: ТГц, терагерцовий сканер, виявлення об'єктів, згорткова нейронна мережа.

Останнім часом терагерцовий (ТГц) діапазон електромагнітного (ЕМ) випромінювання є актуальним для дослідження матеріалів і розробки інструментів для військових, безпекових і медичних застосувань. Методологія виявлення прихованих об'єктів використовує різні датчики, технології обробки зображень і алгоритми машинного навчання для виявлення прихованих об'єктів із застосуванням у сфері безпеки, спостереження та контролю якості. Мета даної роботи — показати останні напрацювання в сфері автоматичного детектування прихованих предметів за допомогою ТГц-сканера та системи виявлення предметів.

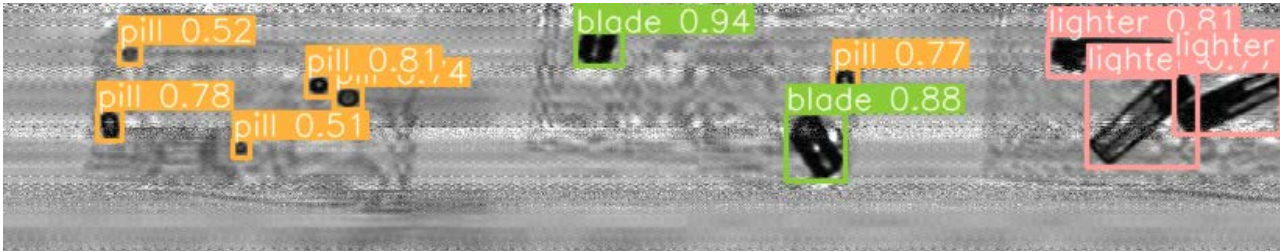
У попередньому нашому дослідженні [1] було продемонстровано використання методів виявлення об'єктів і сегментації об'єктів за допомогою ТГц-сканера. В схожому дослідженні [2] була використана модель YOLOv5 для детектування об'єктів, однак допущення авторів про використання тренувального набору даних для тестування мережі було хибним, що підсумували й самі автори. У більш новому дослідженні [3] продемонстровано використання YOLOv5 для виявлення прихованих об'єктів на знімках та запропоновано новий метод виявлення у ТГц-зображеннях з використанням підходу з об'єднанням характеристик мережі ViFPN. В цьому дослідженні використовується більш сучасна нейронна мережа (YOLOv8), збільшений набір даних та поліпшені методи обробки зображень зі сканера.

При скануванні випромінювання з ТГц-сканера від чотирьох ІМРААТ-діодів підсвічує рухомі об'єкти на конвеєрі. Водночас детектори на основі метал-оксид-напівпровідникових польових транзисторів (MOSFET), розташованих у чотирьох лінійних матрицях, вимірюють рівень пропущеного випромінювання. Система фокусування сканера складається з чотирьох наборів політетрафторетиленових (PFTE) лінз із гіперболічними профілями, які були виготовлені з використанням технології фрезерування за допомогою CNC-станка. Конвеєрна стрічка, виготовлена з оптимізованого поліамідного матеріалу товщиною 3 мм, може працювати на різних швидкостях, дозволяючи випромінюванню від джерел проходити через обидві сторони стрічки та детектуватися лінійними матрицями MOSFET. Для реєстрації сигналу використовується спеціальний пристрій зчитування на основі технології FPGA, який обробляє вхідні дані для створення цифрового зображення рухомого об'єкта. Роздільна здатність отриманого зображення залежить від розміру детекторів, а також від фокуса та діаметра ТГц-оптики. У нашому випадку налаштування було оптимізовано для схеми максимального заповнення променя в діапазоні 160 мм. Одним з обмежень ТГц-сканера є ймовірність нерівномірності освітлення масивів MOSFET, що може внести шум до фонового зображення та погіршити загальну якість зображення. Однак цю проблему можна частково вирішити за допомогою програмних методів.

Під час експериментів різні об'єкти в конвертах поміщали на конвеєрну стрічку, що рухалася зі швидкістю 20 см/с, і сканували за допомогою ТГц-сканера. Процес сканування контролювали для

забезпечення точного захоплення зображення та усунення артефактів чи збоїв. Для поліпшення якості зображення були застосовані методи попередньої обробки зображення, зокрема нормалізація, викидання шумів за пороговим значенням на основі квантилів, техніка усунення шумів тощо. Ерозію та дилатацію використовували для видалення шуму зі збереженням деталей об'єкта із експериментально обраним розміром ядра 3×3. Ціми методами оптимізували алгоритми виявлення об'єктів і забезпечили отримання високоякісних зображень.

Набір даних, використаний в цьому дослідженні, складається з понад 1000 зразків, а зображення мають роздільну здатність 160×820. Для тренування моделі було обрано архітектуру мережі YOLOv8. Наразі це найновіша та одна з найкращих архітектур згорткових мереж для виявлення об'єктів.



Результат детектування моделі: 6 пігулок, 2 леза та 3 запальнички
(числа на підписах — впевненість моделі в класифікації)

Результати тренування демонструють 95,5%-ву точність детектування об'єктів для всіх класів (точність підрахована за відомою метрикою mAP@0.5), для запальничок — 97,8%, для пластикових карток — 99,5%, для пігулок — 90,8%, пігулок у пакуванні — 99,3%, для ножів — 92,7%, для лез — 92,9%. Приклад детектування зображений на рисунку. Набір даних містить найменшу пігулку діаметром приблизно 7 мм, що близько до фізичної роздільної здатності сканера, проте точність виявлення навіть такого маленького об'єкта склала понад 90%. З найвищим рівнем точності серед усіх детектованих об'єктів були виявлені леза, що пояснюється їх унікальною особливістю, завдяки якій їх легко розрізнити за моделями.

Використовуючи нейронну мережу YOLOv8, навчану на власному наборі даних ТГц-зображень, система досягла 95,45% точності в автоматичному детектуванні різноманітних об'єктів. Реалізований на поштовому сканері та протестований на реальних зразках метод показав високу точність і високу швидкість обробки в реальному часі. Результати досліджень демонструють перспективність використання цієї технології в застосунках безпеки та спостереження.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Kovbasa M., Golenkov A., Sizov F. Neural Network Application to the Postal Terahertz Scanner for Automated Detection of Concealed Items. *IEEE Ukrainian Microwave Week*, Ukraine, Kharkiv, 2020, p. 870–873.
2. Rugliancich A., Paoletti R., Biesuz N. et al. Development of a terahertz scanning apparatus with automatic object detection capabilities. *Proc. of SPIE*, vol. 11541, *Millimetre Wave and Terahertz Sensors and Technology XIII*, 2020, 115410I.
3. Danso S. A., Shang L., Hu D. et al. Hidden dangerous object recognition in terahertz images using deep learning methods. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, iss. 15, 7354.

M. Kovbasa, O. Golenkov, F. Sizov

DETECTION OF HIDDEN OBJECTS IN LINEAR TERAHERTZ VISUALIZATION SYSTEMS

The paper presents an automated solution for identifying hidden objects with a terahertz scanner. A dataset of terahertz images is utilized to train a convolutional neural network for classifying and detecting the presence or absence of prohibited items in an image. Real-world data is employed to test the system, achieving an accuracy rate of 95.5%. This underscores the successful implementation of neural networks in terahertz scanning systems, showcasing their potential for security and surveillance applications.

Keywords: THz, terahertz scanner, object detection, convolutional neural network.