

## ДОДАТОК А

Апробація наукових результатів дослідження



The Ministry of  
Education and Science  
of Ukraine

<https://nure.ua/>

Kharkiv National  
University of  
Radio Electronics

**KITAM**

2023

## COLLECTION

OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER

«Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2023

(Part 1)



Industry 4.0



Digital control  
life cycle



Distributed Computer  
Systems



Fast  
integration and  
flexible  
configuration



Cyber-physical  
system

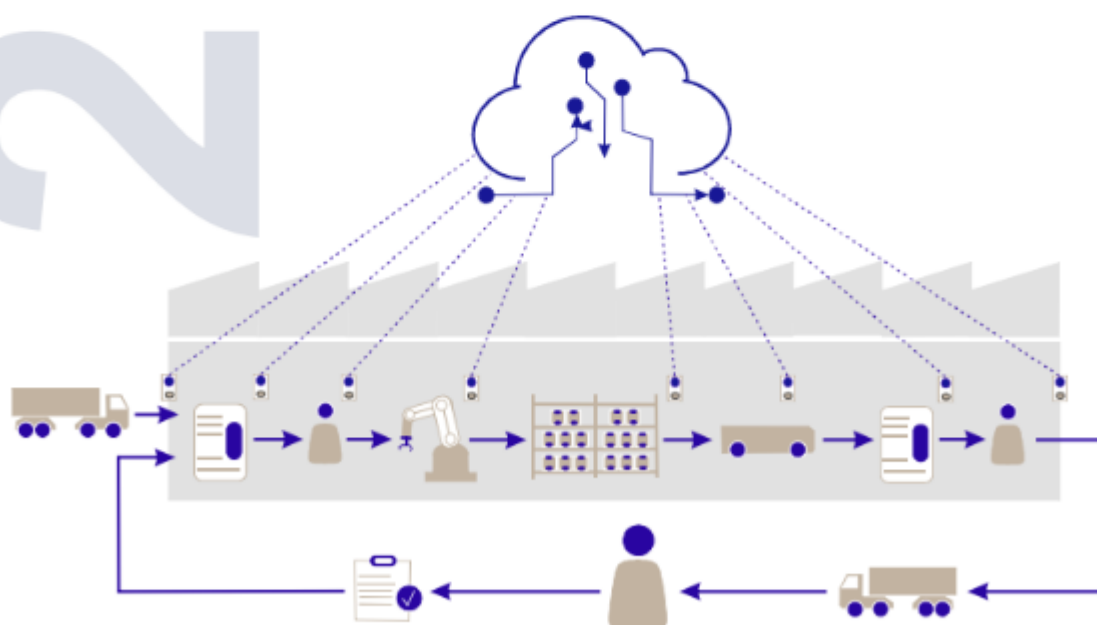
<https://nure.ua/>

кафедра  
Комп'ютерно-інтегрованих  
технологій, автоматизації та мехатроніки

ХНУРЕ

## ЗБІРНИК

студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
ADED-2023  
(Випуск 1)  
[електронне видання]



Industry 4.0

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету  
**Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».  
**Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.  
**Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».  
**Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.  
**Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського  
**Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Свєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – Вип. 1. – 336с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2023 Part 1 (Key infrastructure 2023) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – 336p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 6 від 01.05.2023

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2023 рік

## ЗМІСТ

<i>Бацуля Р. В.</i>	
Аналіз сучасних розробок у сфері робототехніки .....	9
<i>Дяченко Е. С.</i>	
Аналіз сучасних розробок в області розумного будинку .....	15
<i>Кап'юнкін В.Г.</i>	
Розроблення системи голосового керування сайтом для людей з обмеженими можливостями .....	19
<i>Карташова В.В.</i>	
Аналіз сучасних роботизованих та експертних систем .....	24
<i>Кащев В. А., Артюх В. С.</i>	
Аналіз створення інтерфейсів користувача програмного забезпечення автоматизованих систем .....	31
<i>Кравченко С. В.</i>	
Аналіз автоматизованих систем керування технологічними процесами сучасного підприємства .....	36
<i>Наумов М. С.</i>	
Автоматизація приладобудівних приміщень .....	42
<i>Остапенко І.В.</i>	
Комп'ютерне зорове сприйняття .....	47
<i>Перебийніс Д. А.</i>	
Аналіз сучасного стану розробок в області автоматизації .....	52
<i>Рудакова Г. В.</i>	
Аналіз сучасних розробок в області комп'ютерного зору .....	57
<i>Дмитрієв Д.В.</i>	
Розробка макету пристрою дистанційного керування антропоморфним захватним пристроєм .....	61
<i>Андрєєв А.С.</i>	
Перспективи використання PHP та MYSQL в проектах .....	66
<i>Вінниченко С.О.</i>	
Огляд можливих ризиків кібератаки для віртуального підприємства та способів їх запобігання .....	70
<i>Гребенков Д. В.</i>	
Огляд сучасних безпілотних літальних апаратів .....	74
<i>Кирпота Ф., Халімонов Я.</i>	
Особливості QR-кодів та проблеми Fishing .....	78
<i>Макушев І.А.</i>	
Огляд сучасних роботів-маніпуляторів .....	82
<i>Олінкевич Я.В.</i>	
PHP & HTML: файли cookie, сесії, автентифікація .....	86
<i>Поліканов К. А.</i>	
Безпека QR-кодів та Phishing атаки .....	91
<i>Коноваленко К.</i>	
Розробка структурної схеми мобільної маніпуляційної платформи для розмінування ...	95
<i>Реука С.</i>	
Розробка структурної схеми PID контролера для керування позиціонування сонячної панелі для автономних мобільних роботів .....	100

<i>Александров В.О.</i>	
Перспективи розвитку повітряної робототехніки в Україні .....	105
<i>Савін В.А.</i>	
Аналіз сучасних методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів .....	110
<i>Залож Є.</i>	
Управління збутом продукції виробничого підприємства на основі динамічних QR-кодів .....	115
<i>Воронов Д.О.</i>	
Розробка програмних модулів на основі датчика LIDAR для системи управління БПЛА .....	119
<i>Коротун Є.В.</i>	
Факторний аналіз фотополімерних смол для 3D-друку .....	124
<i>Світайло Д. М.</i>	
Аналіз причин кібератак та інформаційної безпеки .....	128
<i>Долгуля А.В.</i>	
Дослідження переміщення чотирилапого зооморфного робота «Робокіт» у невизначеному просторі .....	132
<i>Кривий М.В.</i>	
Робототехнічні системи та їхнє використання .....	138
<i>Nienova D. V.</i>	
Programmable Providing of Data on Functional Dependencies of Material Characteristics ...	143
<i>Білоус М.Ю., Іщенко М.Д.</i>	
Автоматизація розподілу сервісних робіт на підприємстві .....	147
<i>Кравченко С. В.</i>	
Аналіз сучасного фреймворка ASP.NET CORE для WEB-додатків .....	151
<i>Башкір Б.В.</i>	
Переваги та недоліки термопластавтоматів .....	156
<i>Зибенко О. О.</i>	
Впровадження електроерозійних варстатів з ЧПК в розумне виробництво .....	160
<i>Кальченко А.С.</i>	
Особливості 3D-ДРУКУ для принтерів FDM/FFF .....	165
<i>Маковоз С. К.</i>	
Комп'ютерне моделювання механічної частини плазмового ЧПУ верстата .....	170
<i>Піхтер'єв А.Д.</i>	
Переваги та недоліки 3D-принтерів з полярною кінематикою .....	174
<i>Придятько Д.Р.</i>	
Огляд можливостей систем технічного зору для пошуку вибухонебезпечних предметів .....	178
<i>Шерстюк А. М.</i>	
Системологічний аналіз проблеми автоматизації виявлення браку продукції приладобудівельного підприємства .....	183
<i>Лукеча І.</i>	
Математична модель системи позиціонування стимулюючого електрода на біологічно активні точки .....	189
<i>Обозін Я.В.</i>	
Особливості засобів для ремонту пошкоджених автомобілів .....	195
<i>Shevchenko A.A.</i>	
Development of Program Tools to Provide Automated Data Plots Visualisation for Scientific Aided Computation Software .....	199

<i>Шишко А.Т., Кулешов Д.С.</i>	
ІоТ-рішення для автоматизації виробничого приміщення на базі ESP8266 та Веб-сервера .....	205
<i>Білошапка І.В.</i>	
Розробка методів щодо створення програмних модулів автоматизованого проектування деталей для системи LibreCAD .....	209
<i>Левченко К.О.</i>	
Кінематика 3D – принтерів .....	215
<i>Муравка Р.</i>	
Дослідження роботи мобільного робота з використанням різних сенсорів для збору даних про зовнішнє середовище .....	219
<i>Склярів М. В., Тарасенко К. А.</i>	
Впровадження технологій 3D візуалізації у виробництво та навчання .....	224
<i>Скрипниченко В.О.</i>	
Вплив автоматичних регуляторів на лінійні об'єкти автоматизації .....	229
<i>Пустовалов Д.</i>	
Дослідження методу триангуляції та його застосування у робототехніці та повсякденному житті .....	235
<i>Леонов Ю.С.</i>	
Аналіз систем підігріву та підтримання температури повітря в 3D-принтер .....	241
<i>Щербина В.</i>	
Розробка віддаленої системи екстреного керування мобільним роботом на базі ESP8266 .....	245
<i>M. Sc. Isabelle Elisabeth Metzen, Nienova D.V.</i>	
Utilizing Engineering and Programming Approaches Implemented in a Multidisciplinary Experiment as an Innovation Platform for Biological Climate Change Research .....	248
<i>Ахмад Д.Х.</i>	
Сервер для організації обміну даними та керування мобільною платформою .....	253
<i>Бузніков В.Р.</i>	
Використання технології комп'ютерного зору для виявлення вибухонебезпечних предметів .....	257
<i>Гребенюк Б.А.</i>	
Розробка підсистеми управління інтелектуальним роботом .....	263
<i>Карпов М.С.</i>	
Аналіз бездротових сенсорних мереж .....	270
<i>Поддубняк І. А.</i>	
Розробка мобільної платформи для пошукових робіт .....	277
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Інтелектуальна автоматизація технологічних процесів .....	283
<i>Візір Ю.С., Кравченко К.В.</i>	
Система автоматизованого контролю та підтримки оптимального рівня освітленості у приміщеннях .....	287
<i>Лащин З.В.</i>	
Автоматизація процесу управління ресурсами навчальних лабораторій .....	291
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Аналіз сучасних інтелектуальних технологій, які застосовуються при виробництві приборів та систем .....	296

<i>Сокол Б.В.</i>	
Порівняльне моделювання кінематик 3D принтера .....	300
<i>Бєлий Я.В.</i>	
Особливості управління багатоступеневими взаємопов'язаними нелінійними об'єктами .....	305
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Інтелектуальна автоматизація технологічних процесів .....	308
<i>Бєлий Я.В.</i>	
Розробка однорівневої системи контролю та управління доступом .....	313
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Аналіз сучасних інтелектуальних технологій, які застосовуються при виробництві приборів та систем .....	318
<i>Монзер А.А.</i>	
Автоматичне визначення області сканування в адаптивній бінарizzaції зображення .....	322
<i>Савченко П.М.</i>	
Особливості виробничих адаптивних систем автоматичного управління .....	326
<i>Савченко П.М.</i>	
Розробка системи управління світломузичною установкою на базі arduino Nano .....	330
<i>Катишев І.А., Катишев В.І.</i>	
Збільшення ефективності вакуумного сонячного колектора .....	333

УДК 004.3; 004.9

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

**В.Р. Бузніков**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

E-mail: vladyslav.buznikov@nure.ua

**Анотація:** Проведено аналіз існуючих, методів, систем та технологій виявлення вибухонебезпечних предметів. Визначено завдання комп'ютерного зору. Проаналізовано моделі глибокого навчання сімейства R-CNN та YOLO. Наведено логіку роботи моделей глибокого навчання та описано їх архітектуру.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, виявлення об'єктів, глибоке навчання, R-CNN, YOLO.

## USE OF COMPUTER VISION TECHNOLOGY FOR DETECTING EXPLOSIVE OBJECTS

**V. Buznikov**

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: vladyslav.buznikov@nure.ua

**Annotation:** The tasks of computer vision are analyzed. Existing methods and systems for detecting explosive objects are reviewed and analyzed. The analysis of deep learning models of the R-CNN and YOLO families is carried out. The logic of deep learning models is presented and their architecture is described.

**Key words:** computer vision, object detection, deep learning, R-CNN, YOLO.

**ВСТУП.** На сьогоднішній день проблема гуманітарного розмінування в Україні є дуже актуальною, оскільки країна перебуває в режимі воєнного стану. Засмічення деакупованих територій різними вибухонебезпечними предметами лише в Харківській області складає 85%, що несе великий ризик для населення та співробітників Державної служби надзвичайних ситуацій. Тому, мінімізація участі саперів в процесі виявлення вибухонебезпечних предметів для їх знешкодження є дуже важливою та складною задачею.

Для вирішення такого рода задач доцільним є використання автоматизованих систем, які базуються на технології комп'ютерного зору, оскільки таких підхід надає змогу розпізнавати об'єкти з високою точністю та в короткий термін без участі людини, що є важливим аспектом для вирішення поставленої мети.

В сучасному світі комп'ютерний зір займає все більш важливу роль у різних сферах нашої діяльності. Він використовується для розпізнавання облич, зчитування штрих-кодів, визначення параметрів продуктів на конвеєрі та багатьох інших завдань. За допомогою комп'ютерного зору можна автоматизувати процеси виробництва та збільшити ефективність роботи. Однак, розробка систем комп'ютерного зору є складним і витратним процесом, який вимагає високої кваліфікації від розробників.

Для того, щоб забезпечити правильну роботу системи комп'ютерного зору, необхідно розробляти алгоритми, які здатні правильно обробляти та інтерпретувати отримані дані. Крім того, необхідно забезпечити належну якість джерела даних, які будуть використовуватись для роботи системи. Тому важливо мати чітке розуміння технологій та методологій, що застосовуються у роботі з комп'ютерним зором.

Однією з особливостей роботи з комп'ютерним зором є необхідність в регулярному тестуванні та валідації результатів роботи системи. Тестування допомагає виявляти та виправляти помилки в роботі системи та забезпечувати її стабільну та точну роботу. При

цьому, необхідно враховувати особливості різних задач та використовувати відповідні методи тестування.

Однією з галузей, в якій комп'ютерний зір може знайти широке застосування, є індустрія, де він може значно спростити та оптимізувати процеси виробництва. Завдяки комп'ютерному зору можна автоматизувати процес контролю якості виробів, що дозволить не лише зменшити кількість бракованих виробів, а й збільшити продуктивність виробництва за рахунок скорочення часу, необхідного для контролю якості.

Також комп'ютерний зір знайшов своє застосування в медицині, де він може допомогти лікарям у діагностиці та лікуванні різних захворювань. Завдяки йому можна отримати додаткову інформацію про здоров'я пацієнта, що дозволяє більш точно визначити діагноз та підібрати ефективне лікування. Робота з комп'ютерним зором має свої особливості та вимоги, які потрібно враховувати при розробці та використанні програмних продуктів на його основі. На відміну від людського зору, комп'ютерний зір може помилятися, тому важливо мати належну якість та достатню кількість даних для навчання алгоритмів комп'ютерного зору, а також правильно налаштувати та калібрувати обладнання для забезпечення максимальної точності та надійності роботи.

Таким чином, робота з комп'ютерним зором має свої особливості та вимоги, які потрібно враховувати для досягнення максимальної ефективності та точності використання цієї технології при розробленні автоматизованого модуля виявлення вибухонебезпечних предметів.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.** Комп'ютерний зір – це теорія і технологія створення штучних комп'ютерних систем для виявлення, класифікації та відстеження об'єктів. Вони отримують інформацію із зображень, які можуть бути представлені певним відеорядом, зображеннями або тривимірними даними з різних камер, відсканованими зображеннями тощо.

Виявлення об'єктів - це завдання комп'ютерного зору, в якому метою є виявлення та визначення місцезнаходження об'єктів, що представляють інтерес, на зображенні чи відео. Завдання передбачає виявлення положення і меж об'єктів на зображенні, а також класифікацію об'єктів за різними категоріями.

Класифікація зображень передбачає прогнозування класу одного об'єкта на зображенні. Локалізація об'єктів відноситься до визначення розташування одного або декількох об'єктів на зображенні та малювання великої рамки навколо їх протяжності. Виявлення об'єктів поєднує ці два завдання, локалізує та класифікує один або кілька об'єктів на зображенні.

Розрізняють три завдання комп'ютерного зору:

- класифікація зображень – прогнозування типу або класу об'єкта на зображенні. Вхідні дані: зображення з одним об'єктом, наприклад фотографією. Вивід: мітка класу (наприклад, одне або кілька цілих чисел, зіставлених з мітками класів);

- локалізація об'єктів – знаходження присутності об'єктів на зображенні та вказання їх розташування рамкою розміру. Вхідні дані: зображення з одним або декількома об'єктами, наприклад фотографією. Вивід: одна або більше рамок розміру (наприклад, визначені точкою, шириною та висотою);

- виявлення об'єктів – визначення наявності об'єктів за допомогою рамки розміру та типів або класів розташованих об'єктів на зображенні. Вхідні дані: зображення з одним або декількома об'єктами, наприклад фотографією. Вивід: Одна або більше рамок розміру (наприклад, визначені точкою, шириною та висотою), а також мітка класу для кожної рамки розміру [1]. Завдання комп'ютерного зору з розпізнавання об'єктів зображено на рисунку 1.

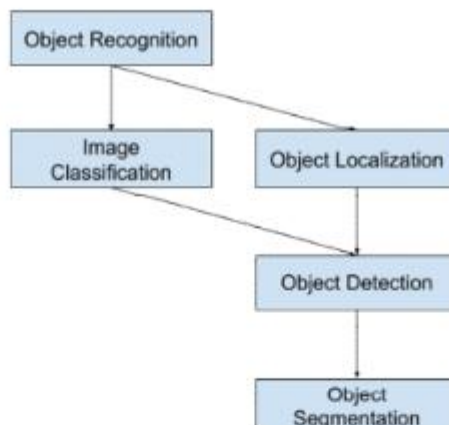


Рисунок 1 – Завдання комп'ютерного зору з розпізнавання об'єктів [1]

**ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ.** В статті «Researchers advance detection method for explosives» авторами запропоновано підхід для виявлення вибухонебезпечних предметів, який базується на датчиках, які включали радар з синтезованою апертурою повітряного базування, наземний транспортний засіб і малий безпілотний літальний апарат LIDAR, електрооптичні камери високої чіткості, довгохвильові інфрачервоні камери і радар для виявлення нелінійних сполук [2].

Також, існує система «Millimeter wave holographic body-scanning system» (голографічна система сканування тіла на міліметровому діапазоні хвиль), яка дозволяє виявляти вибухонебезпечні предмети. Міліметрові хвилі нешкідливо проникають крізь одяг і відбиваються від тіла, надсилаючи сигнали назад до трансивера, трансивер надсилає сигнали до високошвидкісного комп'ютера, який реконструює їх для створення остаточного тривимірного голографічного зображення [3].

«PNNL vapor detection technology» (Технологія виявлення парів PNNL) ця технологія швидко і точно виявляє вибухові речовини, смертельно небезпечні хімікати і заборонені наркотики. Технологія працює шляхом всмоктування зразка повітря у вузьку металеву трубку. Усередині трубки зразок стикається з хімічними іонами і створює позитивний або негативний заряд на шляху до входу в мас-спектрометр. Мас-спектрометр вимірює або виявляє іони, які необхідні, на основі їх заряду і маси. Користувачі можуть налаштувати джерело іонізації так, щоб воно селективно реагувало зі сполукою, яка відноситься до вибухонебезпечних речовин [4].

**АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ.** Сімейство методів R-CNN відноситься до R-CNN, що може означати "Регіони з особливостями CNN" або "Згортова нейронна мережа на основі регіонів", розроблена Россом Гіршиком (Ross Girshick) та ін. Сюди входять методи R-CNN, Fast R-CNN та Faster-RCNN, розроблені та продемонстровані для локалізації та розпізнавання об'єктів.

Запропонована ними модель R-CNN складається з трьох модулів:

- модуль 1: Пропозиція регіону. Генерування та вилучення незалежних від категорій пропозицій регіонів, наприклад, обмежувальних рамок-кандидатів;
- модуль 2: Екстрактор ознак. Вилучення ознак з кожного регіону-кандидата, наприклад, за допомогою глибокої згорткової нейронної мережі;

– модуль 3: Класифікатор. Класифікує ознаки як один з відомих класів, наприклад, лінійна модель SVM-класифікатора [5].

Архітектура моделі зображена на рисунку 2.

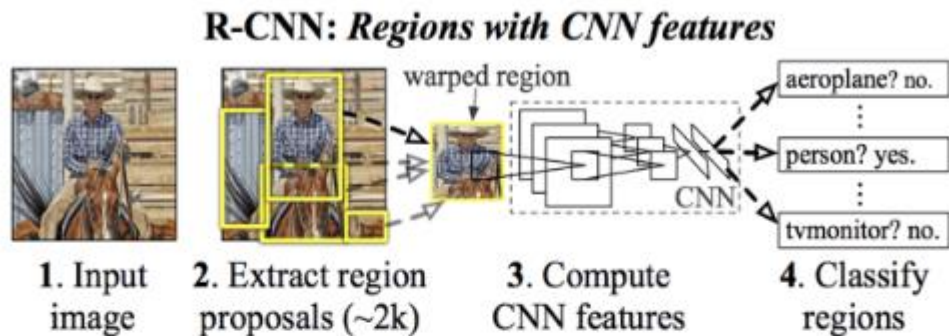


Рисунок 2 – Архітектура моделі R-CNN [5]

Для пропонування областей-кандидатів або обмежувальних рамок потенційних об'єктів на зображенні використовується метод комп'ютерного зору, який називається "селективний пошук", хоча гнучкість дизайну дозволяє використовувати й інші алгоритми пропонування областей. Недоліком підходу є те, що він повільний, оскільки вимагає проходження вилучення ознак на основі CNN для кожного з регіонів-кандидатів, згенерованих алгоритмом пропонування регіонів.

Швидкий R-CNN. Архітектура моделі використовує набір пропозицій регіонів як вхідні дані, які пропускаються через глибоку згорткову нейронну мережу. Для вилучення ознак використовується попередньо навчена CNN. Кінцем глибокої CNN є спеціальний шар, який називається шар об'єднання регіонів, який витягує ознаки, специфічні для даного регіону-кандидата на вхідні дані.

Вихід CNN інтерпретується повністю пов'язаним шаром, після чого модель розділяється на два виходи: один для прогнозування класу за допомогою шару softmax, а інший - з лінійним виходом для обмежувальної області. Потім цей процес повторюється кілька разів для кожної області інтересу на необхідному зображенні.

Ця модель значно швидше навчається і робить прогнози, але все ще вимагає набору областей-кандидатів, які пропонуються разом з кожним вхідним зображенням [6].

Архітектура моделі зображена на рисунку 3.

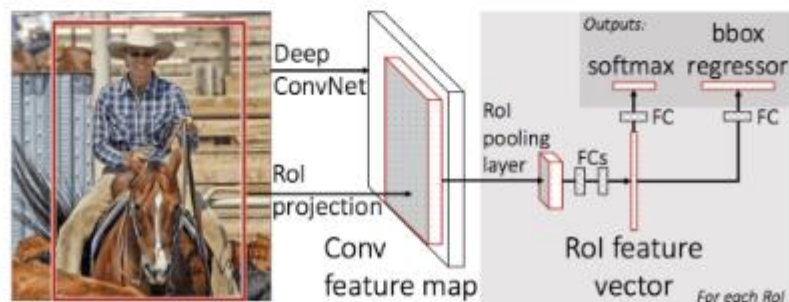


Рисунок 3 – Архітектура моделі Fast R-CNN [6]

Сімейство моделей YOLO. Ще одне популярне сімейство моделей розпізнавання об'єктів називається YOLO або "You Only Look Once", розроблене Джозефом Редмоном (Joseph Redmon) та ін.

Моделі R-CNN можуть бути загалом більш точними, проте сімейство моделей YOLO є швидкими, набагато швидшими за R-CNN, досягаючи виявлення об'єктів у реальному часі.

Підхід передбачає наскрізне навчання однієї нейронної мережі, яка приймає фотографію в якості вхідних даних і безпосередньо прогнозує обмежувальні рамки і мітки класів для кожної з них. Метод пропонує нижчу точність прогнозування (наприклад, більше помилок локалізації), хоча працює зі швидкістю 45 кадрів на секунду і до 155 кадрів на секунду для оптимізованої версії моделі.

Модель працює, спочатку розбиваючи вхідне зображення на сітку комірок, де кожна комірка відповідає за передбачення обмежувальної рамки, якщо центр обмежувальної рамки потрапляє в цю комірку. Кожна комірка сітки прогнозує обмежувальну рамку, включаючи координати x, y, ширину, висоту та довірчу ймовірність. Прогнозування класу також базується на кожній комірці [7]. Принцип роботи моделі зображено на рисунку 4.

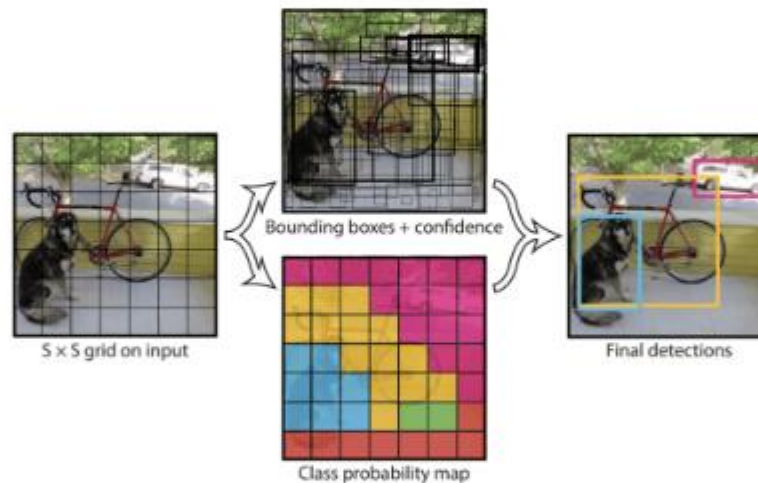


Рисунок 4 – Принцип роботи моделі YOLO [7]

**ВИСНОВОК.** Комп'ютерний зір є важливою технологією для багатьох галузей, таких як медицина, транспорт, безпека та багато інших. За допомогою комп'ютерного зору можна створити системи, які здатні автоматично виявляти та розпізнавати вибухонебезпечні предмети у реальному часі, що значно підвищить ефективність та рівень безпеки при розмінуванні. Існуючі системи є дорогими та складнішими у використанні, на відміну від систем з використанням комп'ютерного зору, де достатньо провести глибоке навчання нейронної мережі. Виявлення об'єктів за допомогою комп'ютерного зору відбувається завдяки глибокому навчанню, що покращує швидкість виявлення і точність. Серед проаналізованих моделей глибокого навчання R-CNN має більшу точність, але модель YOLO краще виявляє об'єкти на відео, так як працює зі швидкістю до 155 кадрів на секунду. Тому для свого автоматизованого модуля буде використано модель сімейства YOLO.

## ЛІТЕРАТУРА

1. A Gentle Introduction to Object Recognition With Deep Learning – [Електронний ресурс] / MachineLearningMastery. – Режим доступу: [www/ URL: https://machinelearningmastery.com/object-recognition-with-deep-learning/](http://www.machinelearningmastery.com/object-recognition-with-deep-learning/) – 04.04.2023 р. – Загол. з екрана.
2. Researchers advance detection method for explosives – [Електронний ресурс] / The United States Army – Режим доступу: [www/ URL: https://www.army.mil/article/242508/researchers\\_advance\\_detection\\_method\\_for\\_explosives](http://www.army.mil/article/242508/researchers_advance_detection_method_for_explosives) – 05.04.2023 р. – Загол. з екрана.
3. 3-D Body Holographic (millimeter wave) Scanner – [Електронний ресурс] / PNNL – Режим доступу: [www/ URL: https://www.pnnl.gov/available-technologies/3-d-body-holographic-millimeter-wave-scanner](http://www.pnnl.gov/available-technologies/3-d-body-holographic-millimeter-wave-scanner) – 05.04.2023 р. – Загол. з екрана.
4. Smelling is Believing – [Електронний ресурс] / PNNL – Режим доступу: [www/ URL: https://www.pnnl.gov/news-media/smelling-believing](http://www.pnnl.gov/news-media/smelling-believing) – 05.04.2023 р. – Загол. з екрана.
5. Object Detection Using CNN – [Електронний ресурс] / 360DigiTMG – Режим доступу: [www/ URL: https://360digitmg.com/blog/object-detection-using-cnn](http://www.360digitmg.com/blog/object-detection-using-cnn) – 04.04.2023 р. – Загол. з екрана.
6. Sonar Image Target Detection and Recognition Based on Convolution Neural Network – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL: https://www.hindawi.com/journals/misy/2021/5589154/](http://www.hindawi.com/journals/misy/2021/5589154/) – 04.04.23 р. – Загол. з екрана.
7. Computer Vision – A journey from CNN to Mask R-CNN and YOLO – [Електронний ресурс] / Towards Data Science – Режим доступу: [www/ URL: https://towardsdatascience.com/computer-vision-a-journey-from-cnn-to-mask-r-cnn-and-yolo-part-2-b0b9e67762b1](https://towardsdatascience.com/computer-vision-a-journey-from-cnn-to-mask-r-cnn-and-yolo-part-2-b0b9e67762b1) – 04.04.2023 р. – Загол. з екрана.
8. Nevludov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906

**Науковий керівник:** Хрустальова Софія Володимирівна, доцент, к.т.н., доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

## **ДОДАТОК Б**

Демонстраційний графічний матеріал

