

УДК 621

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

### **ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕКЦИИ**

Абдрахимов Даниил Александрович  
orcid =0000-0003-2616-2887  
wos=HRA-7408-2023  
SPIN-code [8197-7577](#)  
dan.abdrakhimov@yandex.ru

Машинное обучение хорошо зарекомендовало себя в задаче детекции объектов в видеопотоке. Тем не менее, на сегодняшний день не существует технологии, которая могла бы связать информацию с видео домена и уникальные идентификаторы особей на сельскохозяйственных производствах. В данной статье предлагается рассмотреть новый, универсальный подход, который сочетает в себе технологии компьютерного зрения и инфракрасной системы идентификации. Объединение двух технологий позволяет получать в режиме реального времени информацию об основных действиях животных, отслеживая основные показатели особей с последующим сохранением данной информации в базу данных. Предложенный метод детекции позволит вывести автоматизацию процессов животноводства на более высокий уровень и открывает новые возможности для фермеров в области цифровизации их предприятия

Ключевые слова: ИНФРАКРАСНЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ, КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, МЕТОДЫ ДЕТЕКЦИИ ЖИВОТНЫХ, YOLO11

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-001>

## **Введение**

Для идентификации животных на данный момент существует несколько основных подходов, которые успешно применяются, но они обладают рядом недостатков и высокой стоимостью. В качестве более дешевой альтернативы в данной статье предлагается система

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/01.pdf>

UDC 621

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

### **ANIMAL IDENTIFICATION TECHNOLOGY BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INFRARED DETECTION SYSTEM**

Abdrakhimov Daniil Alexandrovich  
orcid =0000-0003-2616-2887  
wos=HRA-7408-2023  
RSCI SPIN-code [8197-7577](#)  
dan.abdrakhimov@yandex.ru

Machine learning has proven itself well in the task of detecting objects analyzing a video stream. However, there is no technology that could link information from a video domain and unique identifiers of individuals in agricultural production. In this article, it is proposed to consider a new, universal approach that combines computer vision technologies and an infrared identification system. Combining the two technologies allows you to receive real-time information about the main actions of animals, tracking the main indicators of individuals and then saving this information to a database. The proposed detection method will allow to bring the automation of livestock farming processes to a higher level and opens up new opportunities for farmers in the field of digitalization of their enterprise

Keywords: INFRARED IDENTIFICATION METHOD, COMPUTER VISION, ANIMAL DETECTION METHODS, YOLO11

искусственного интеллекта, основанная на разработанных инфракрасных метках и методах компьютерного зрения, которая позволяет строить системы мониторинга животных, для решения задач различной степени сложности. Система идентификации позволяет в режиме реального времени отслеживать основные показатели сельскохозяйственного предприятия, повышая уровень автоматизации в рутинных задачах, таких как кормление и взвешивание особей.

#### Инфракрасная идентификация

Выбор ИК-излучения для изготовления меток в системе однозначной идентификации животных был основан на некоторых основных преимуществах их применения, относительно аналогов, таких как RFID-метки, в основе которых лежит радиочастотная идентификация:

- ИК твердотельные излучатели (ИК светодиоды) компактны, практически безынерционны, экономичны и недороги;
- ИК приемники малогабаритны и также недороги, что позволяет дешево собрать базу идентификации на объекте;
- ИК лучи не отвлекают внимание человека и не приносят дискомфорта животным.

Таким образом, изготовленная метка, относительно RFID имеет меньшую стоимость как сама по себе, так и система её считывания на объекте, оказывается в разы дешевле аналога.

#### Физические принципы

В самом начале XIX в. было введено понятие об инфракрасных лучах. Наличие инфракрасных волн было установлено в 1800 г. Гершелем, наблюдавшим нагревание чувствительного термометра, на который падало излучение Солнца с длинами волн, лежащими за красным концом спектра. Гершель обнаружил также, что эти лучи подчиняются таким же законам отражения и преломления, как и видимый свет[1]. Сегодня, ИК- излучение - электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между

красным концом видимого света (с длиной волны  $\lambda = 740$  нм [3] и частотой 430 ТГц) и микроволновым радиоизлучением ( $\lambda \sim 1\text{—}2$  мм, частота 300 ГГц)[4].

ИК-излучение разделяется на следующие диапазоны:

- **Ближний** - длина волны от 700 нм до 2 мкм. Оно используется в оптическом распознавании образов, медицине, промышленности и других областях.[5]

- **Средний** - от 2 мкм до 25 мкм. Он применяется в тепловизионной технике, спектроскопии, анализе материалов и других областях[5]

- **Дальний** - от 25 мкм до нескольких миллиметров. Оно используется для наблюдения за атмосферой, исследования космических объектов и термографии.[5]

Для решения задачи идентификации отлично подходит **ближний диапазон**. Именно в этом диапазоне длин волн мы имеем подходящую “прозрачность”, воды и прочих препятствий.[2]

ИК-излучение в выбранном диапазоне обладает следующими важными свойствами:

- Несмотря на распространенность ИК-излучения и высокий уровень "фона", источников импульсных помех в ИК области мало, поэтому идентификация происходит с хорошей разрешающей способностью, в отличие от радио спектра (как в RFID метках) для которого, например, металл или вода являются непроницаемым препятствием;

- ИК-излучение низкой мощности не оказывает влияния на здоровье человека и животных;

- ИК-излучение хорошо отражается от большинства материалов (стен, мебели);

- ИК-излучение не проникает сквозь стены и не мешает работе других аналогичных устройств, что позволяет использовать метки с одинаковой частотой в соседних помещениях.

Перечисленные физические свойства позволяют использовать одни и те же метки в соседних помещениях, а также при необходимости отслеживать животное не только возле рамки (как у RFID меток), а на территории всего загона, и на постоянной основе следить за важными для фермы показателями животного, а именно: весом, температурой, активностью и тд.

#### Методология

Каждая метка состоит из простой аналоговой схемы, содержащей: транзистор, резистор, ик-диод, конденсатор и источник питания. В зависимости от емкости конденсатора ик-диод мигает с определенной частотой. Сама метка прикрепляется к животному, на любой открытой участок, например, ухо. В считывающем контуре стоит система ИК-приемников, которая считывает сигнал, оцифровывает его и передает на управляющую плату (например, Arduino Nano или Raspberry), которая в свою очередь разделяет сигналы, считывает частоту мерцания и сопоставляет с занесенными в базу уникальными идентификаторами животных.

#### Прототип метки идентификации

Схема ИК-метки представлена на Рис. 1, где VT1 полевой транзистор (например, КТ315), LED1 - ИК-диод (например, 940нм), C1 - конденсатор (от его емкости зависит частота мерцания диода), R1 - резистор, G1 - источник питания. Схема такого типа характеризуется высокой степенью надежности из-за простоты и малой стоимостью. К недостаткам можно отнести тот факт что метка собирается под определенную частоту, а не устанавливается динамически.

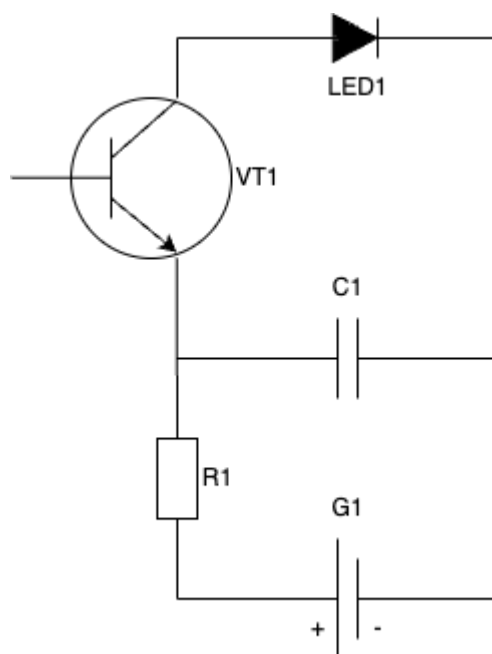


Рис. 1 Схема ИК-метки

### Детекция компьютерным зрением

Искусственный интеллект хорошо зарекомендовал себя в решении задачи обнаружения объектов на фотографиях и видеопотоке. Современные нейронные сети позволяют с высокой точностью и скоростью определять координаты и границы объектов на видео[12]. Метод дистилляции моделей машинного обучения ускоряет[11] инференс нейронных сетей, позволяя использовать их на компьютерах с не самыми высокими вычислительными ресурсами[7]. Задача детекции животных на изображении легко решается компьютерным зрением, которое может быть использовано для разработки системы идентификации[6].

### Используемая модель

Задача детекции объектов в видеопотоке не нова и хорошо решается современными подходами. Одной из лучших архитектур нейронных сетей является модель YOLO, которая начиная с 2015 года стремительно развивается уменьшая потребление ресурсов, затрачиваемых на инференс и обучение модели, сохраняя качество детекции объектов на стабильно

высоком уровне. Модель YOLOv11 была выбрана в качестве базовой модели для решения задачи детекции, как наиболее современная и мощная модель детекции объектов, представленная научному сообществу на момент написания статьи[8]. Архитектурно, модель YOLO принимает в качестве входных данных изображение и применяет сверточную нейронную сеть для обнаружения объектов на изображении. Первые сверточные слои модели предобучаются с использованием датасета ImageNet[10], после чего “голову нейронной сети” обучают на решение конкретной задачи и используют для задачи детекции изображений. На выходе модели отдаются координаты объектов и вероятность их принадлежности к определенному классу. Фреймворк ultralytics yolo предоставляет широкий спектр инструментов для разработки и дообучения моделей под конкретные задачи, что сильно ускоряет внедрение моделей машинного обучения в задачах с разными доменами, что особенно важно в условиях разработки системы идентификации для разных животных.

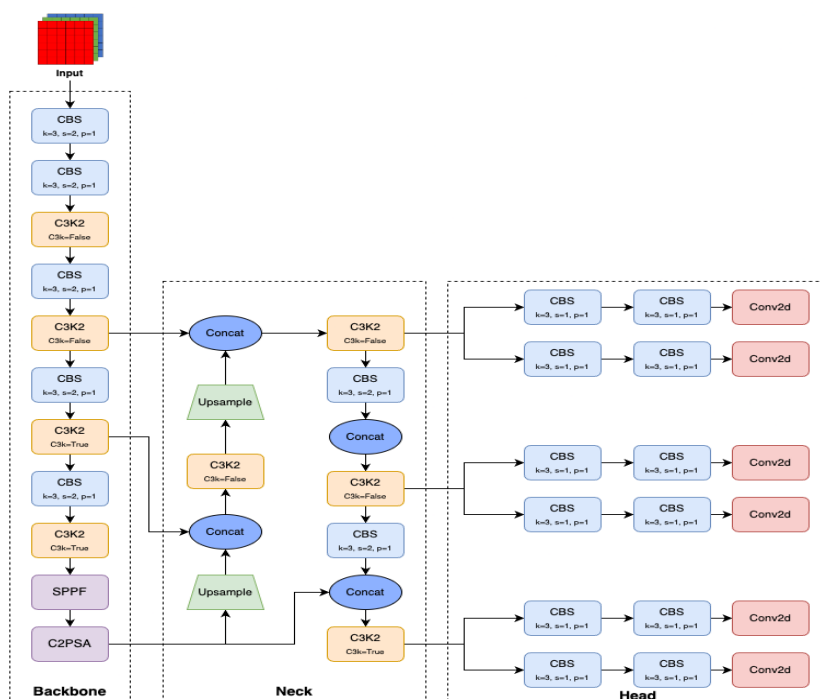


Рис. 2 Архитектура модели YOLOv11

### Датасет

Для тестирования системы на свиноферме была обучена модель детекции свиней. Предобученная модель YOLO11s с 9.4М параметрами дообучалась на самостоятельно размеченном датасете видеозаписей с публично доступных видеозаписей свиноферм. Всего для обучения моделей было использовано 10 видеозаписей общей длительностью около 80 минут. Разметка производилась на ресурсе cvat.ai, все особи были размечены баундинг боксами на протяжении всего видеоряда. Размеченный датасет видеозаписей разбивался на скриншоты в формате COCO v1.1[13] для дальнейшего обучения модели.

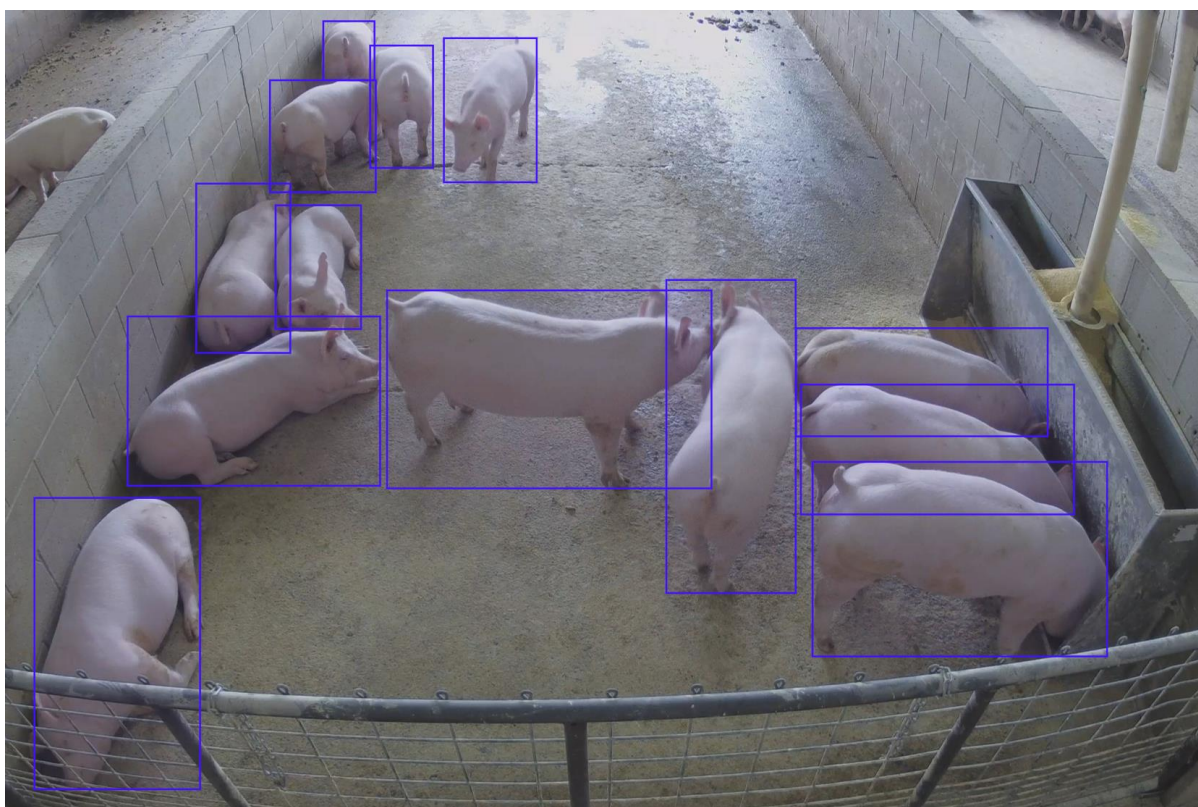


Рис. 3 Размеченный датасет для задачи детекции

### Процесс обучения

Модель YOLO11 обучена с помощью фреймворка ultralytics на 20 эпохах, размером батча: 16, размером картинки: 640 и показателем lr=0.01. Для обучения модели использовалась среда выполнения google collaboratory с графическим процессором NVIDIA T4[9]. Процесс обучения

на одном GPU ускорителе составил 32 минуты. Результатом обучения явилась сверточная нейронная сеть архитектуры YOLOv11 с возможностью детекции свиней. Модель способна работать как с фотографиями, так и с видеорядом, предоставляя возможность трекинга перемещения обнаруженных объектов. Обученная модель экспортирована в формате onnx для дальнейшего ее подключения в рантайм инференса.

#### Оценка результатов

Качество модели оценивалось на независимом валидационном датасете, размеченном на отдельном видео. Модель детекции свиней получила на валидационном датасете F1-score: 0.91.

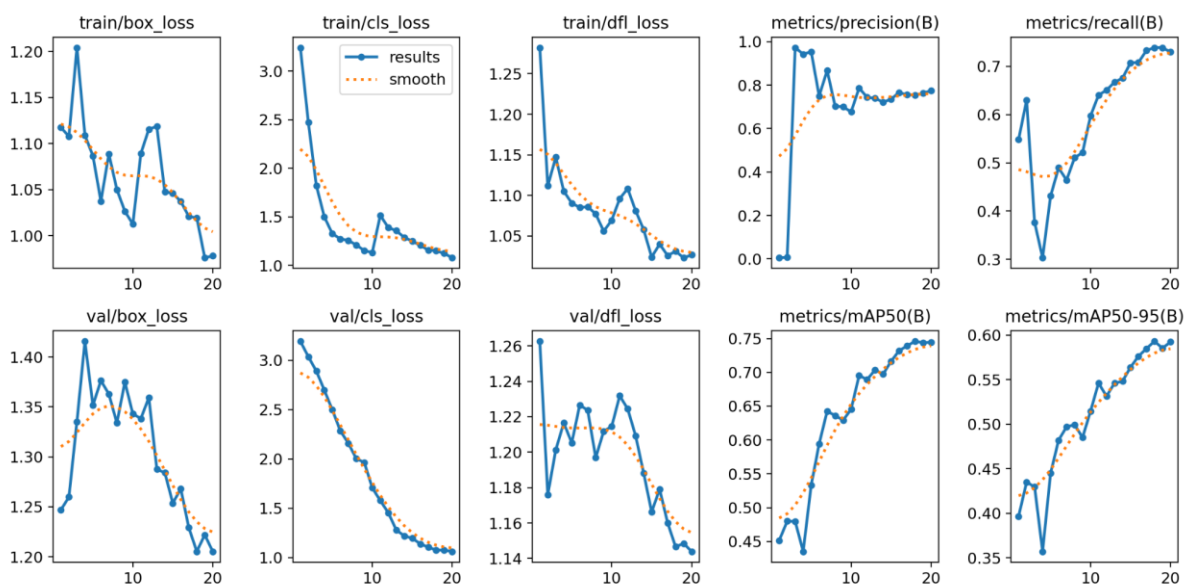


Рис. 4 Метрики процесса обучения модели YOLO11

Данного качества модели достаточно для использования модели в задаче идентификации животных в режиме реального времени.

#### Устройство системы идентификации

Система идентификации представляет собой объединенные двух технологий: компьютерного зрения и инфракрасной системы идентификации. Нейронная сеть позволяет получать в режиме реального времени координаты детектируемого объекта, анализируя видеопоток.



Инфракрасные метки и приемник качественно определяют уникальный идентификатор объекта. Объединение информации двух потоков: с аналоговых меток и цифровой детекции компьютерного зрения позволяет сохранять и обрабатывать информацию о перемещении и действиях конкретных особей на производстве.

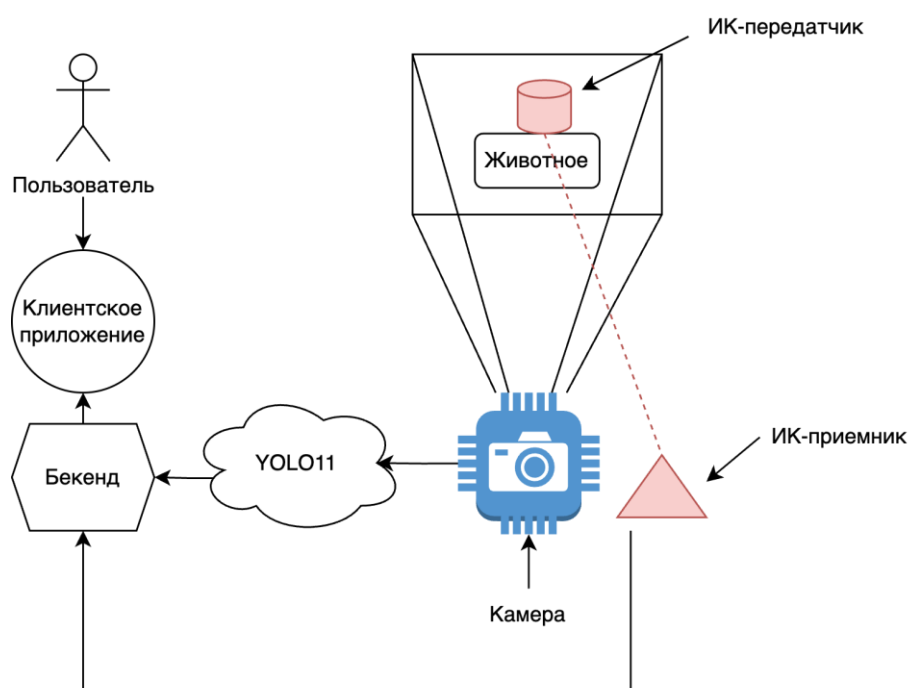


Рис. 5 Схема работы объединенной системы детекции

## Заключение

Инфракрасный метод идентификации обладает рядом преимуществ относительно существующих на рынке методов идентификации. Использование инфракрасных меток вместо радиочастотных позволяет существенно сэкономить на приборах считывания и избежать негативных явлений, связанных с помехами в радиочастотном диапазоне. Компьютерное зрение, хорошо зарекомендовавшее себя в решении задачи детекции, позволяет малыми мощностями получать точную модель детекции и определять траекторию движения особей в режиме реального времени, обрабатывая видеопоток с обычной камеры. В совокупности, совместная работа инфракрасной системы идентификации и нейронных

сетей позволяет контролировать состояние особей, оцифровывать основную информацию об их действиях и сохранять извлеченную информацию в базы данных, доступные для последующей аналитики основных показателей предприятия. Дополнительные модели машинного обучения, позволяющие дистанционно оценивать температуру и вес животных, открывают возможности для расширения системы дополнительным функционалом, таким как: автоматизация кормления и предсказывание болезни животных. Предложенная система потенциально может вывести уровень цифровизации сельхозпредприятий на новый уровень и рекомендуется к апробации и внедрению на фермах.

### Список литературы

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. / Г.С. Ландсберг. – 6-е изд. – ФИЗМАТЛИТ, 2003.
2. Матвеев А.Н. Оптика: Учеб, пособие для физ. спец. вузов. / А.Н. Матвеев. – 1985.
3. Национальная энциклопедия. Инфракрасное излучение / Национальная энциклопедия. – Казахстан: Қазақ энциклопедиясы, 2005.
4. Осипов Ю.С. Большая российская энциклопедия : в 35 т. / Ю.С. Осипов. – Большая российская энциклопедия. – 2004. – Т. 1-35.
5. Сивухин Д.В. Д.В. Общий курс физики. Т. 4 / Д.В. Сивухин Д.В. – Физматлит, 2002. – 792 с.
6. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning / M.S. Norouzzadeh [и др.] arXiv:1703.05830. – arXiv, 2017.
7. Boix-Adsera E. Towards a theory of model distillation / E. Boix-Adsera arXiv:2403.09053. – arXiv, 2024.
8. Comprehensive Performance Evaluation of YOLO11, YOLOv10, YOLOv9 and YOLOv8 on Detecting and Counting Fruitlet in Complex Orchard Environments / R. Sapkota [и др.] arXiv:2407.12040. – arXiv, 2024.
9. Dissecting the NVidia Turing T4 GPU via Microbenchmarking / Z. Jia [и др.] arXiv:1903.07486. – arXiv, 2019.
10. ImageNet-21K Pretraining for the Masses / T. Ridnik [и др.] arXiv:2104.10972. – arXiv, 2021.
11. Wang C. Model Distillation with Knowledge Transfer from Face Classification to Alignment and Verification / C. Wang, X. Lan, Y. Zhang arXiv:1709.02929. – arXiv, 2017.
12. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. You Only Look Once / J. Redmon [и др.] arXiv:1506.02640. – arXiv, 2016.
13. Microsoft COCO Captions: Data Collection and Evaluation Server. Microsoft COCO Captions / X. Chen [и др.] arXiv:1504.00325 [cs]. – arXiv, 2015.

## References

1. Landsberg G.S. Optika. Ucheb. posobie: Dlya vuzov. / G.S. Landsberg. – 6-e izd. – FIZMATLIT, 2003.
2. Matveev A.N. Optika:Ucheb, posobie dlya fiz. specz. vuzov. / A.N. Matveev. – 1985.
3. Nacional`naya e`nciklopediya. Infrakrasnoe izluchenie / Nacional`naya e`nciklopediya. – Kazaxstan: Қазақ е`nciklopediyasy`, 2005.
4. Osipov Yu.S. Bol`shaya rossijskaya e`nciklopediya : v 35 t. / Yu.S. Osipov. – Bol`shaya rossijskaya e`nciklopediya. – 2004. – T. 1-35.
5. Sivuxin D.V. D.V. Obshhij kurs fiziki. T. 4 / D.V. Sivuxin D.V. – Fizmatlit, 2002. – 792 s.
6. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning / M.S. Norouzzadeh [i dr.] arXiv:1703.05830. – arXiv, 2017.
7. Boix-Adsera E. Towards a theory of model distillation / E. Boix-Adsera arXiv:2403.09053. – arXiv, 2024.
8. Comprehensive Performance Evaluation of YOLO11, YOLOv10, YOLOv9 and YOLOv8 on Detecting and Counting Fruitlet in Complex Orchard Environments / R. Sapkota [i dr.] arXiv:2407.12040. – arXiv, 2024.
9. Dissecting the NVidia Turing T4 GPU via Microbenchmarking / Z. Jia [i dr.] arXiv:1903.07486. – arXiv, 2019.
10. ImageNet-21K Pretraining for the Masses / T. Ridnik [i dr.] arXiv:2104.10972. – arXiv, 2021.
11. Wang C. Model Distillation with Knowledge Transfer from Face Classification to Alignment and Verification / C. Wang, X. Lan, Y. Zhang arXiv:1709.02929. – arXiv, 2017.
12. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. You Only Look Once / J. Redmon [i dr.] arXiv:1506.02640. – arXiv, 2016.
13. Microsoft COCO Captions: Data Collection and Evaluation Server. Microsoft COCO Captions / X. Chen [i dr.] arXiv:1504.00325 [cs]. – arXiv, 2015.