

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
Факультет систем управления и робототехники

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА
ПО НАПРАВЛЕНИЮ 15.03.06 «МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»**

НА ТЕМУ:

**«ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ
ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ В ГОРОДСКОЙ
СРЕДЕ»**

Выполнил:

Лалаянц Кирилл Артемович
студент группы R34352
336700

Научный руководитель:

Шаветов Сергей Васильевич
доцент, к.т.н., заместитель декана
ФСУиР, начальник ДНИР

Санкт-Петербург
2025

Актуальность

Урбанистика

- Анализ движения



Подсчет автомобилей и анализ
движения

Робототехника

- Следование за объектом



Следование дрона за
велосипедистом

Задача отслеживания

- Обработка видеоизображений для извлечения информации об объектах:
 - ▶ детектирование объектов
 - ▶ присвоение уникальных идентификаторов
 - ▶ сохранение истории перемещений
- Ключевые подходы:
 - ▶ двухкомпонентные (ReID¹ + детектор) и однокомпонентные системы
 - ▶ online и offline методы
 - ▶ MOT² и SOT³

¹ReID-модель (англ. Re-identification) – нейронная сеть, задачей которой является исключительно создание векторов значений, позволяющих отличить объекты одного класса друг от друга.

²Отслеживание нескольких объектов (англ. Multiple Object Tracking)

³Отслеживание одного объекта (англ. Single Object Tracking)

Проблемы

Проблемы:

- Высокие требования к вычислительным ресурсам
- Задержки при централизованной обработки
- Риски потери данных и сбоев соединения

Решение:

- Использование микрокомпьютера
- Локальная обработка данных в реальном времени
- Повышение автономности и отказоустойчивости системы

Цель работы и практическая значимость

- **Цель:** Выполнить сравнительный анализ существующих подходов к отслеживанию объектов в видеопотоке с целью выявления наиболее подходящих для низкопроизводительных устройств алгоритмов на основе показателей производительности и метрик.
- **Практическая значимость:**
 - ▶ Разработка рекомендаций по выбору алгоритмов для работы в реальном времени на микрокомпьютере.

Задачи

Решаемые в ВКР задачи:

- ① аналитический обзор существующих алгоритмов;
- ② подготовка стенда для апробации;
- ③ подготовка экспериментов для сравнения различных алгоритмов на основании метрик НОТА, МОТА, IDF1 и показателей производительности;
- ④ анализ полученных результатов и выработка рекомендации.

Аналитический обзор

Датасет MOT17

- 14 сцен с пешеходами.
- Различные внешние условия.
- Стандарт для оценки трекеров.

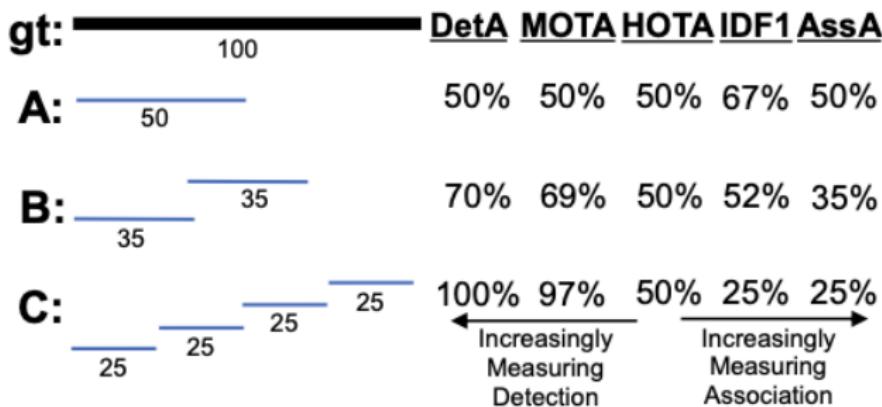


Пример изображения из MOT17.

Аналитический обзор

Метрики HOTA, MOTA, IDF1

- **MOTA** — как хорошо найдены все объекты.
- **IDF1** — насколько трекер сохраняет ID.
- **HOTA** — баланс между нахождением и сохранением ID.



Наглядный пример отличия метрик.

Аналитический обзор

Сравнение алгоритмов (1/2)

- **ByteTrack:** ассоциация по IoU (сопоставление по максимизации совпадения площадей найденного объекта с известными), учитываются слабые детекции. Высокая полнота, но возможны ошибки идентичности.
- **OC-SORT:** меньшая чувствительность к шумам; откат и обновления состояния фильтра Калмана при кратковременной потери объекта, учёт нескольких прошлых наблюдений.
- **BoT-SORT:** IoU + ReID-модель, улучшенный вектор состояния фильтра Калмана.

Аналитический обзор

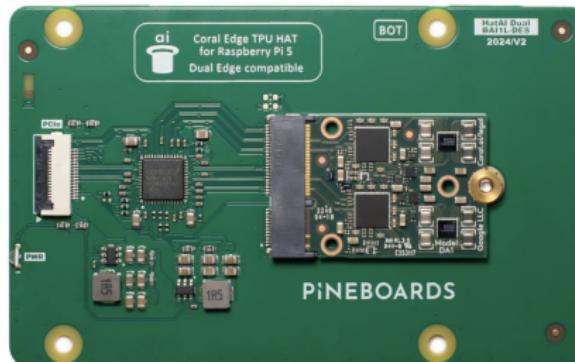
Сравнение алгоритмов (2/2)

- **StrongSORT:** компенсация движения камеры, улучшенное сопоставление траекторий, обновление визуальных особенностей экспоненциальным средним.
- **ImprAssOC:** единая ассоциация по всем детекциям, ReID + компенсация движения. Лучше сопоставляет при слабых детекциях.
- **Deep OC-SORT:** адаптивный коэффициент скользящего экспоненциального среднего (меньший учет новых особенностей при меньшей уверенности в детекции).

Стенд для апробации

Аппаратная часть

- По результатам анализа выбраны компоненты для экспериментального стенда:
 - Микрокомпьютер:** Raspberry Pi 5 (8 ГБ);
 - Вычислительный модуль:** Google Coral Dual TPU;
 - Плата расширения:** Pineboards AI Dual.
- Цена комплекта 28000 рублей, вес 0.1 кг – подходит для автономных устройств.

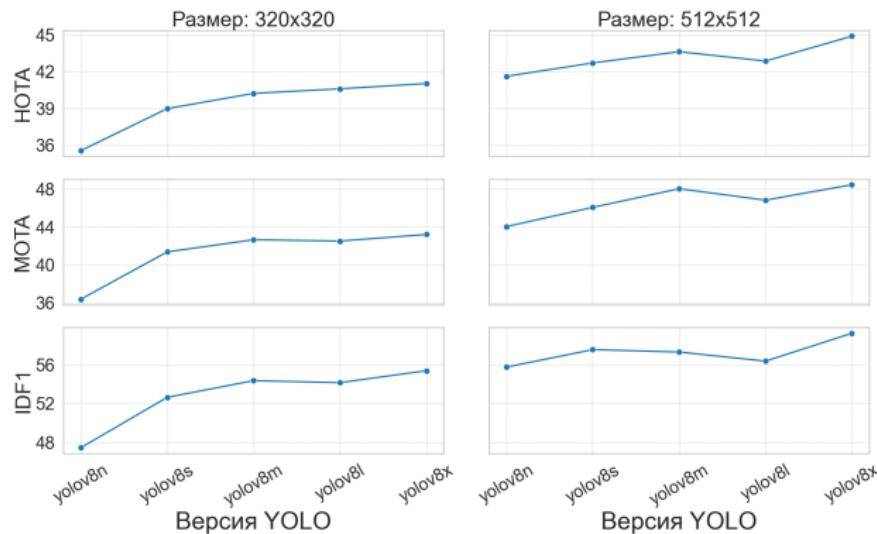


Google Coral на плате расширения.

Эксперименты

1. Влияние размера сети детектора на показатели качества

- Большая модель YOLOv8 → выше HOTA, MOTA, IDF1.
- Увеличение разрешения изображения даёт больший прирост, чем размер модели.

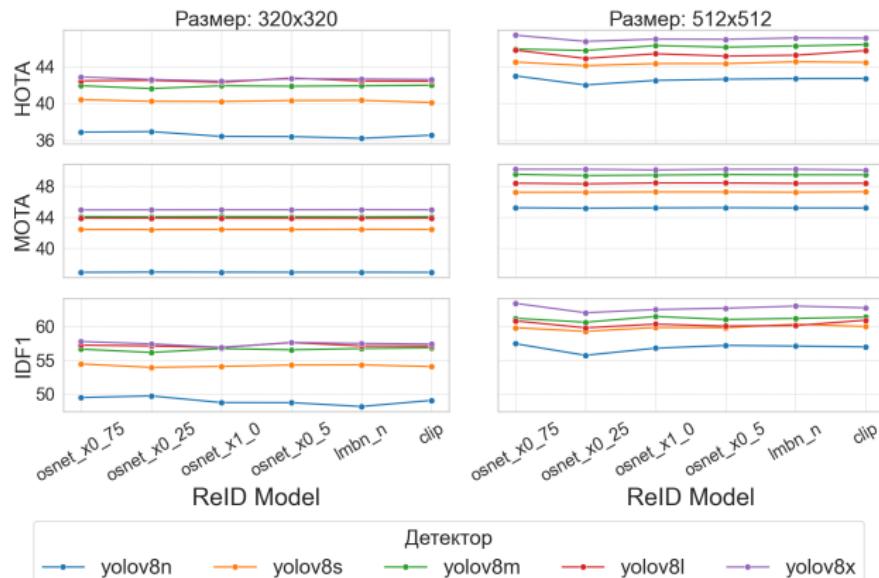


Результаты эксперимента для алгоритма ByteTrack.

Эксперименты

2. Влияние ReID-модели на показатели качества

- Значительного влияния ReID-модель не оказывает. Показатели качества незначительно колеблются.

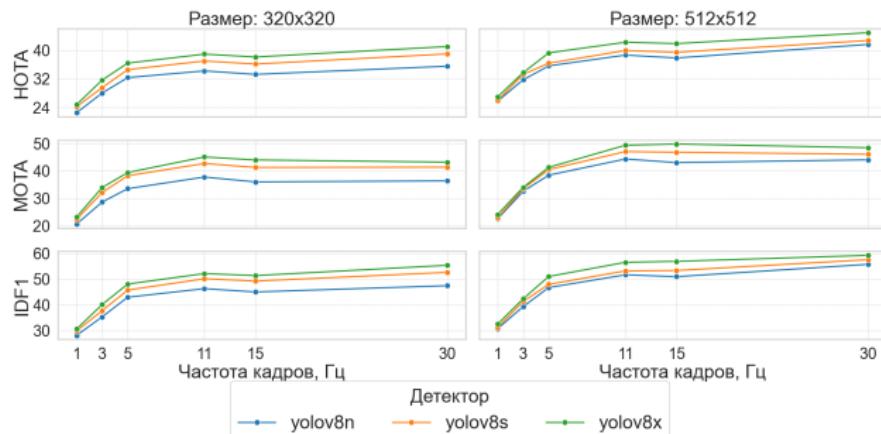


Результаты эксперимента для алгоритма BoT-SORT.

Эксперименты

3. Влияние частоты кадров видеопотока на показатели качества

- Метрики значительно улучшаются до 5 кадров/с
- 5-11 кадров/с — менее выраженный рост
- Выше 11 кадров/с нет значимого улучшения



Результаты эксперимента для алгоритма ByteTrack.

Эксперименты

4. Влияние количества объектов в кадре на частоту работы

Корреляция частоты работы с количеством объектов на изображении

Алгоритм	Корреляция
BoT-SORT	-0.63
ByteTrack	-0.03
Deep OC-SORT	-0.65
ImprAssOC	-0.63
OC-SORT	-0.10
StrongSORT	-0.66

- Алгоритмы ByteTrack, OC-SORT — лучший выбор для насыщенной объектами сцены.
- Трекеры с ReID-моделями теряют FPS при росте числа объектов.

Эксперименты

Сводная таблица по результатам экспериментов

Сводная таблица: показатели качества интерполированы в соответствии с частотой работы на микрокомпьютере.

	Гц	НОТА
ByteTrack	22.0	39.6
ImprAssOC	5.4	40.3
StrongSORT	4.8	39.9
BoT-SORT	5.3	38.0
OC-SORT	17.9	37.5
DeepOC-SORT	4.4	35.4

Сводная таблица для YOLOv8n на размере изображения 512.

Анализ полученных результатов

Выводы по результатам экспериментов

- YOLOv8n выигрывает благодаря скорости работы.
- Алгоритм ByteTrack наиболее стабильный результат благодаря высокой частоте работы, имеет потенциал для увеличения качества изображения. Подходит для сцен с большой плотностью объектов, например, подсчета пешеходов на улице.
- Алгоритмы ImprAssOC и StrongSORT показывают высокие показатели качества при использовании в паре с OSNet X0.25 на изображении размера 512. Могут быть использованы при медленном движении малого (не более 5) количества объектов, например, очередь в магазине.
- Алгоритмы OC-Sort, BoT-SORT и DeepOC-SORT показали худшие результаты.

Заключение

В ходе работы выполнены следующие задачи:

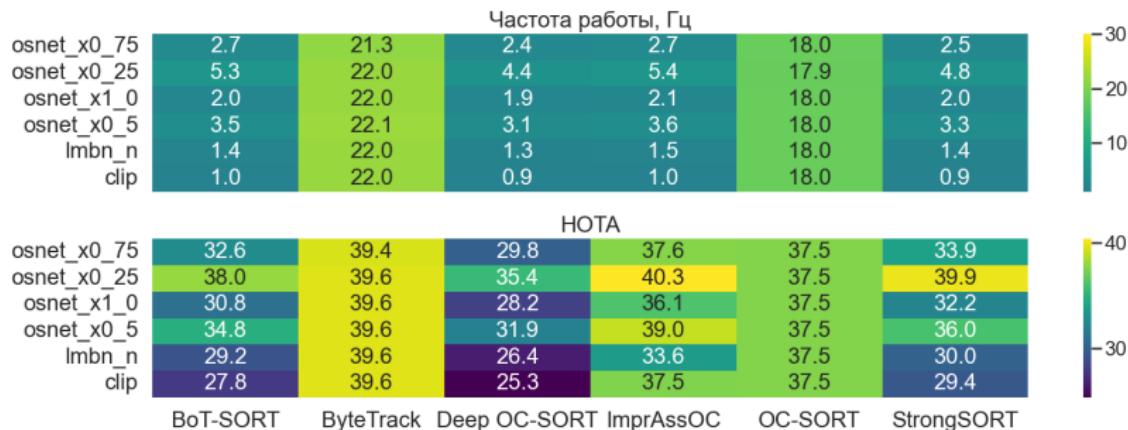
- Изучены современные алгоритмы трекинга.
- Собран экспериментальный стенд на Raspberry Pi 5 с TPU.
- Проведены тесты на MOT17: сравнение 6 алгоритмов по метрикам качества и скорости.
- Проведен анализ полученных результатов.
- Сформулированы рекомендации о алгоритмах подходящих для работы в реальном времени на низкопроизводительных устройствах.

Спасибо за внимание!

Эксперименты

Тепловая карта для YOLOv8n на размере изображения 512.

Тепловая карта: показатели качества интерполированы в соответствии с частотой работы на микрокомпьютере.



Тепловая карта для YOLOv8n на размере изображения 512.