



Лидар — основной сенсор системы технического зрения беспилотных автомобилей

Георгий Никандров
Руководитель группы





1

Какие задачи решали

2

Зачем использовать лидар

3

Зачем разрабатывать самим

4

Какие проблемы решили

5

Что получили

1

Какие задачи решали



Архитектура

- 1 Система восприятия
- 2 Система предсказания движения
- 3 Планировщик
- 4 Система управления



Архитектура

- 1 Система восприятия
- 2 Система предсказания движения
- 3 Планировщик
- 4 Система управления



Как управляет человек



Как управляет человек



Система технического зрения на базе видеокамер



Ничего не получается...



Ничего не получается...



- Низкое разрешение по дальности
- Сливаются объекты одного цвета
- Высокая зависимость от уровня освещения
- Плохо работает в дождь/туман/снег



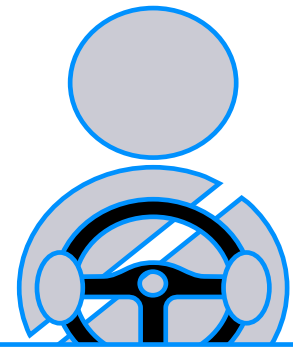
Зачем?



Зачем?



Уровни автономного вождения (SAE J3016)



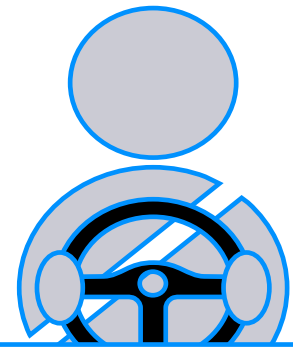
0

Никакой
автоматизации

Водитель
полностью
контролирует
выполнение
задач



Уровни автономного вождения (SAE J3016)



0

Никакой
автоматизации

Водитель
полностью
контролирует
выполнение
задач



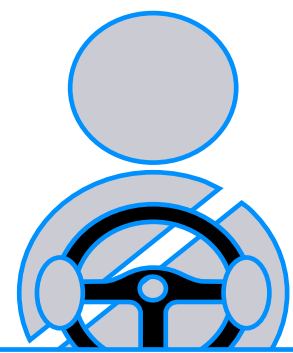
1

Помощь
водителю

Есть единая
автоматическая
система



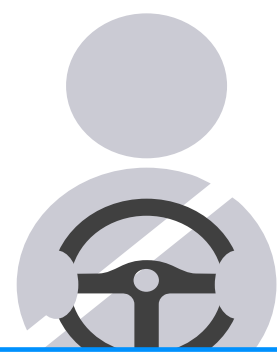
Уровни автономного вождения (SAE J3016)



0

Никакой
автоматизации

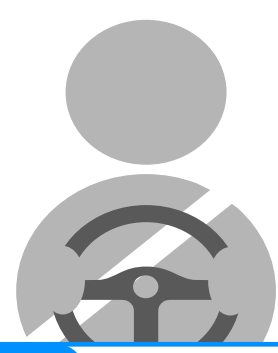
Водитель
полностью
контролирует
выполнение
задач



1

Помощь
водителю

Есть единая
автоматическая
система



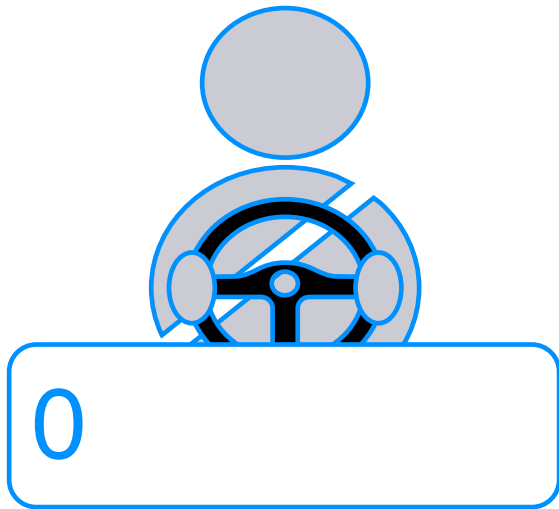
2

Частичная
автоматизация

Может
выполнять
рулевое
управление
и ускорение

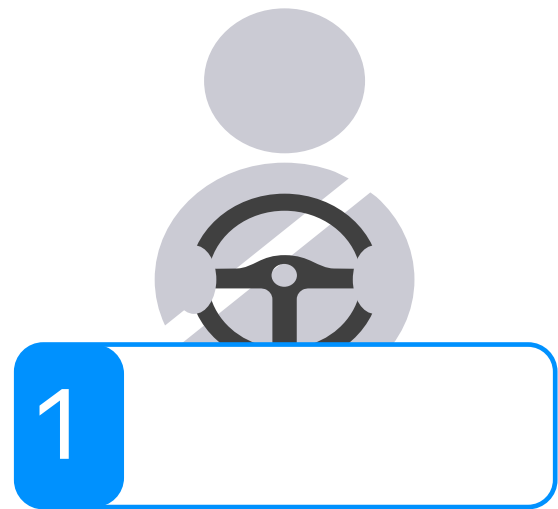


Уровни автономного вождения (SAE J3016)



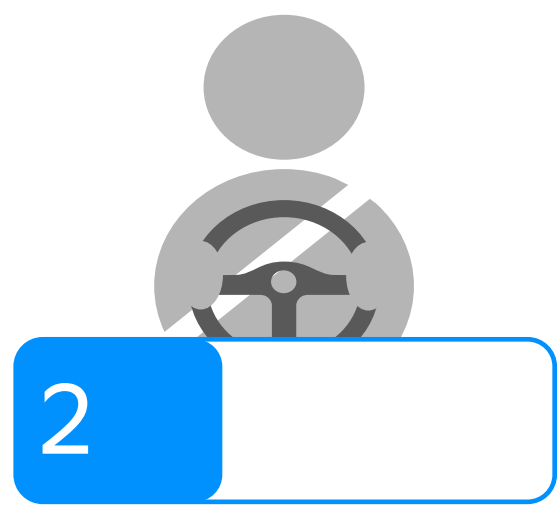
Никакой автоматизации

Водитель полностью контролирует выполнение задач



Помощь водителю

Есть единая автоматическая система



Частичная автоматизация

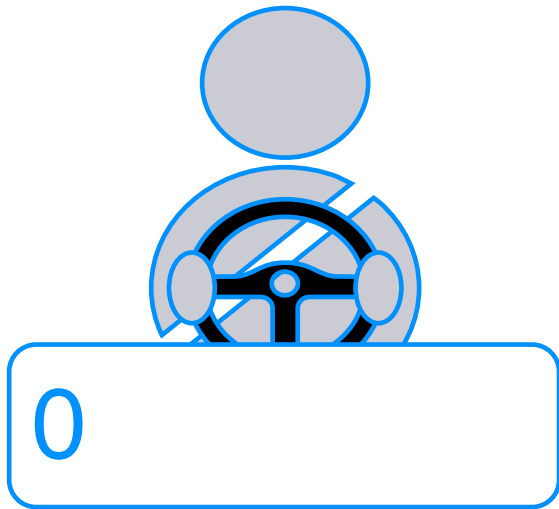
Может выполнять рулевое управление и ускорение



mobileye™

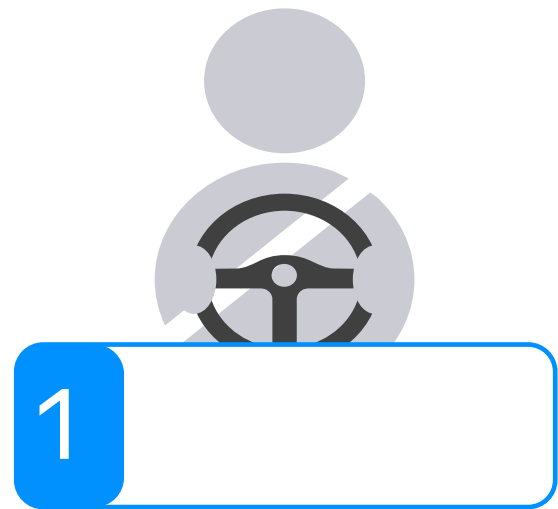


Уровни автономного вождения (SAE J3016)



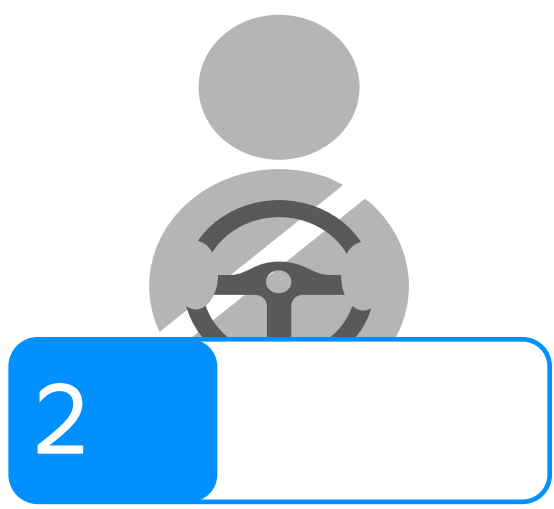
Никакой автоматизации

Водитель полностью контролирует выполнение задач



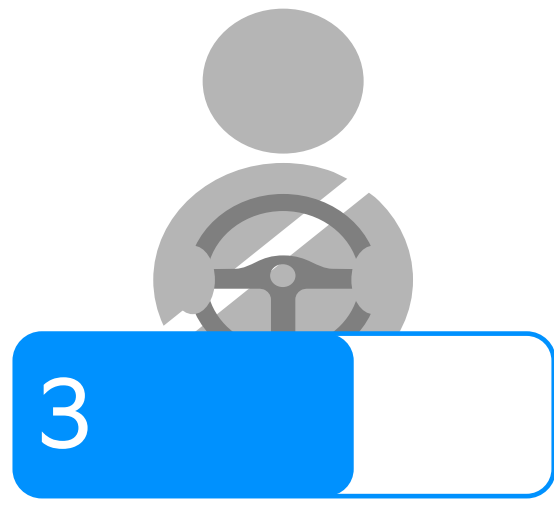
Помощь водителю

Есть единая автоматическая система



Частичная автоматизация

Может выполнять рулевое управление и ускорение

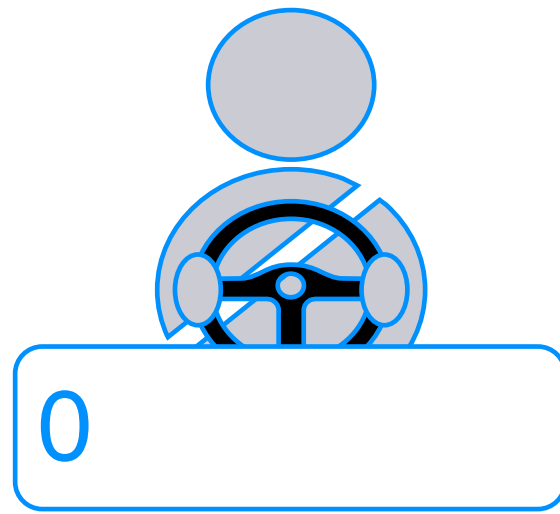


Условная автоматизация

Может выполнять большинство задач по вождению

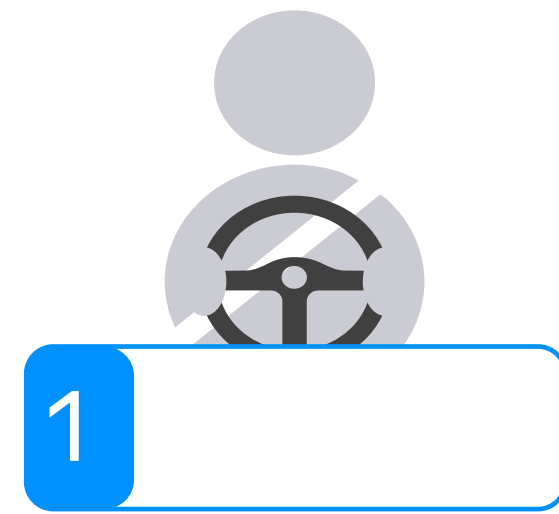


Уровни автономного вождения (SAE J3016)



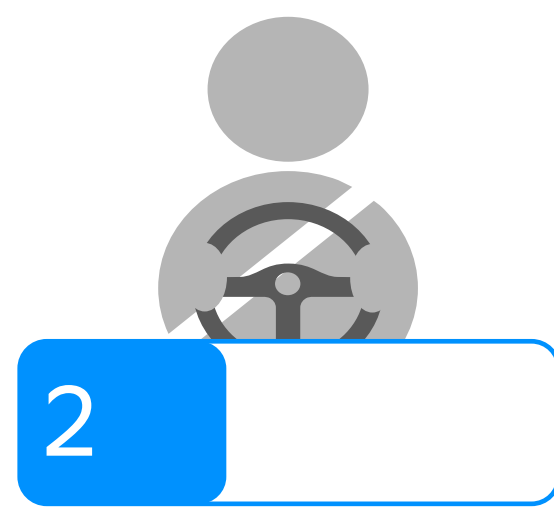
Никакой автоматизации

Водитель полностью контролирует выполнение задач



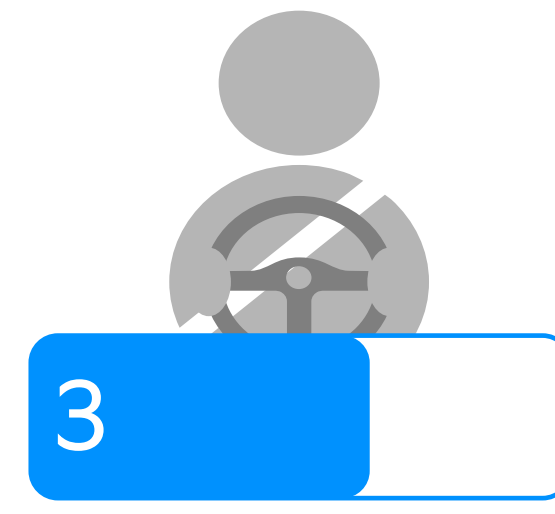
Помощь водителю

Есть единая автоматическая система



Частичная автоматизация

Может выполнять рулевое управление и ускорение



Условная автоматизация

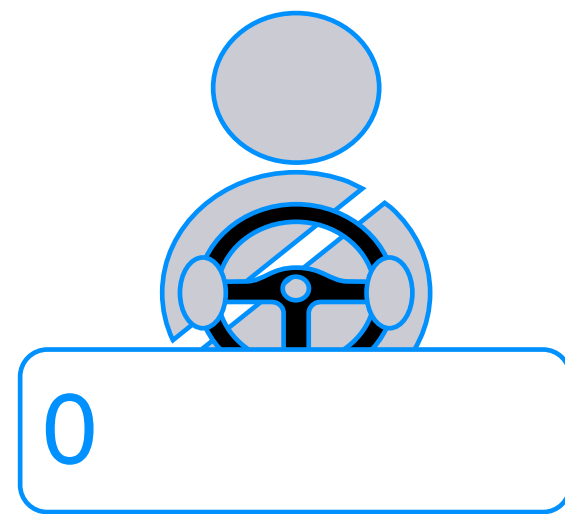
Может выполнять большинство задач по вождению



Mercedes-Benz

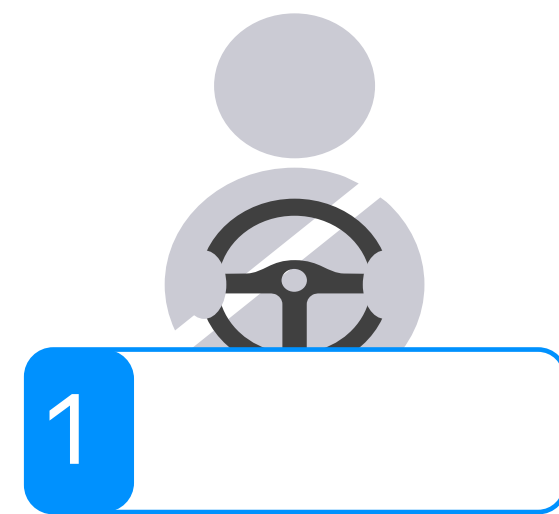


Уровни автономного вождения (SAE J3016)



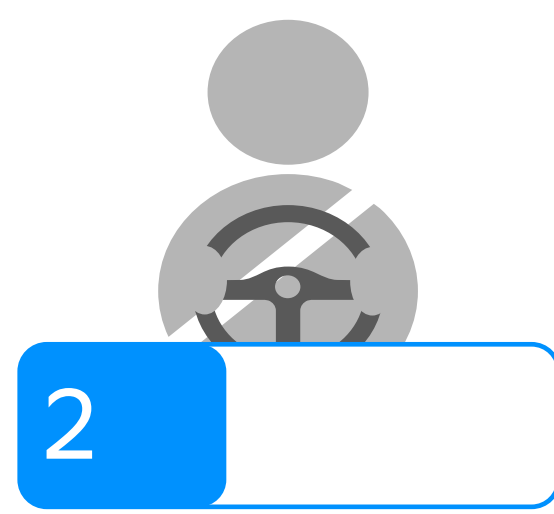
Никакой автоматизации

Водитель полностью контролирует выполнение задач



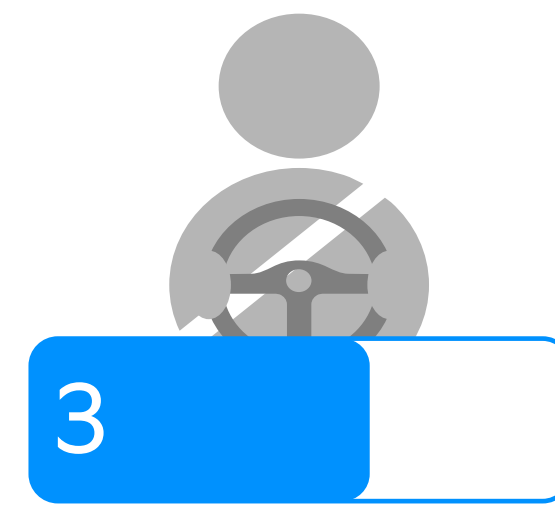
Помощь водителю

Есть единая автоматическая система



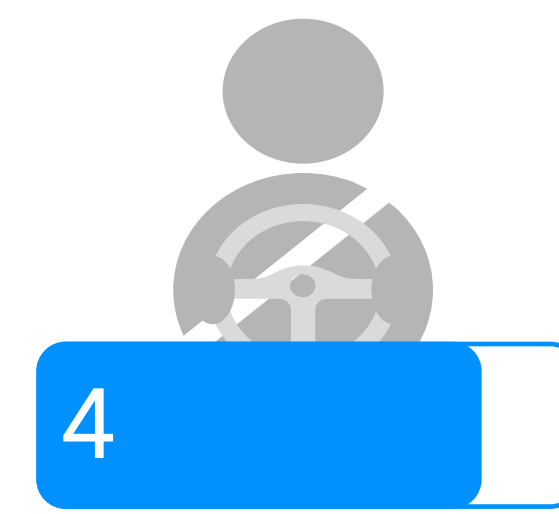
Частичная автоматизация

Может выполнять рулевое управление и ускорение



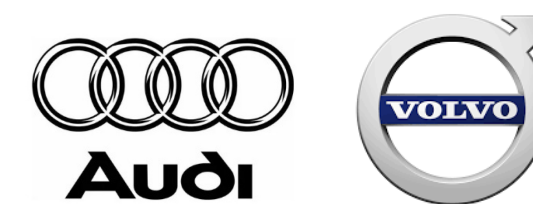
Условная автоматизация

Может выполнять большинство задач по вождению

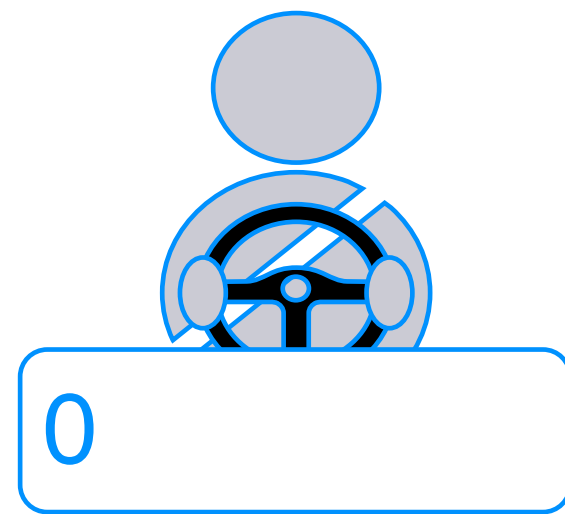


Высокая автоматизация

Все задачи по вождению
При определённых условиях

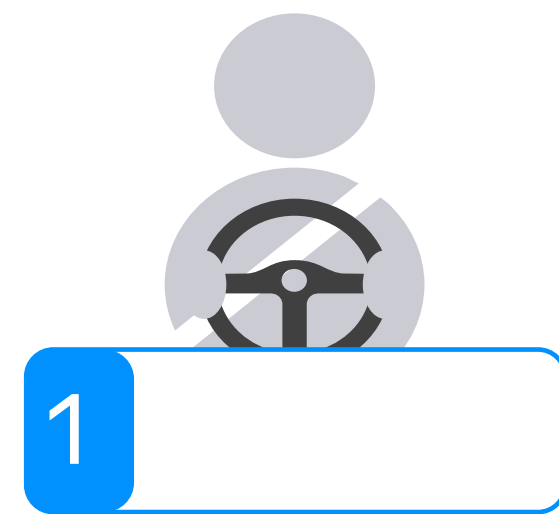


Уровни автономного вождения (SAE J3016)



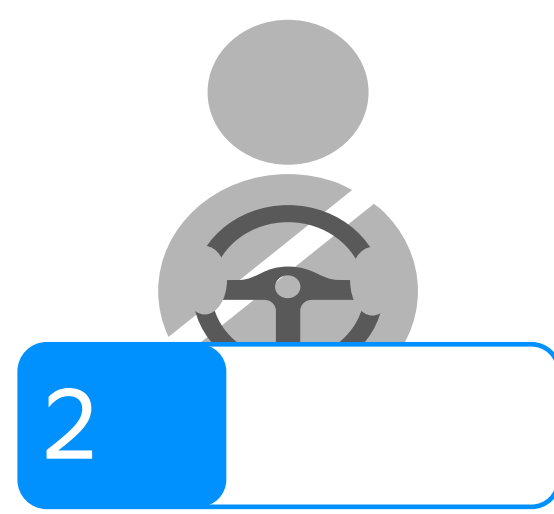
Никакой автоматизации

Водитель полностью контролирует выполнение задач



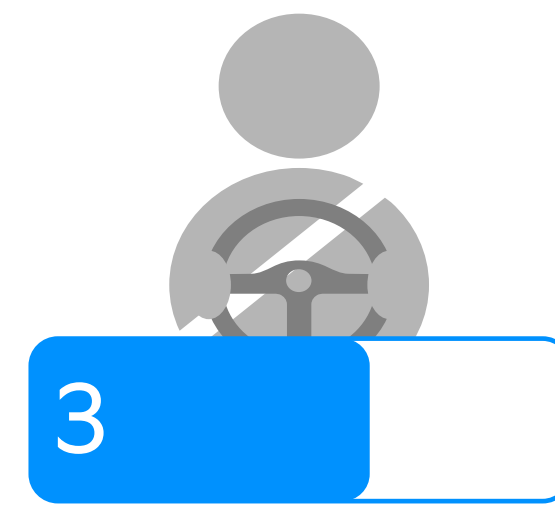
Помощь водителю

Есть единая автоматическая система



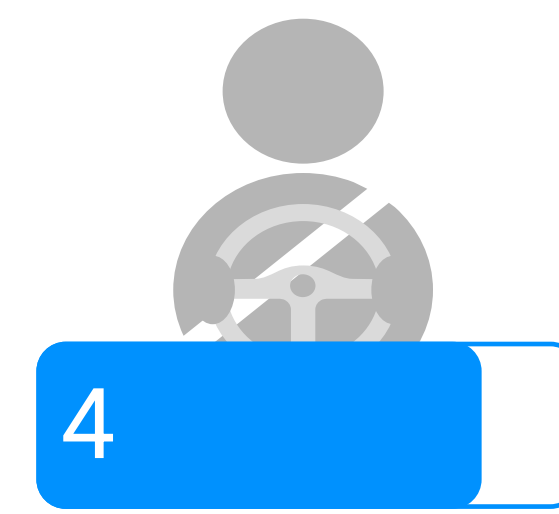
Частичная автоматизация

Может выполнять рулевое управление и ускорение



Условная автоматизация

Может выполнять большинство задач по вождению



Высокая автоматизация

Все задачи по вождению
При определённых условиях

CRUISE



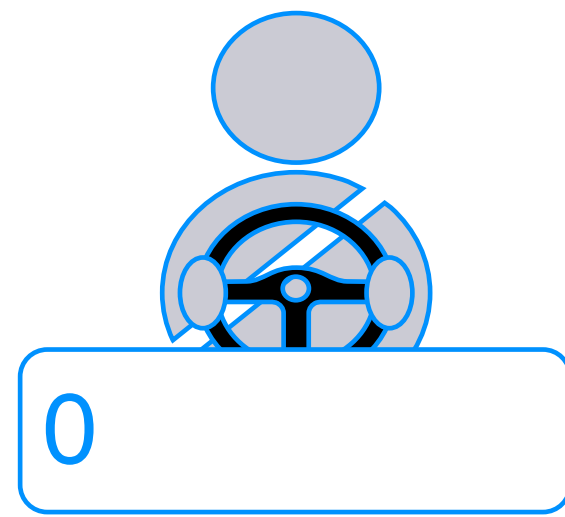
mobileye™



Mercedes-Benz

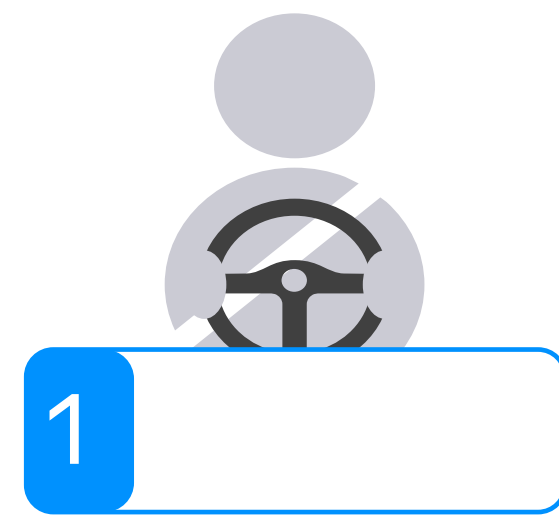


Уровни автономного вождения (SAE J3016)



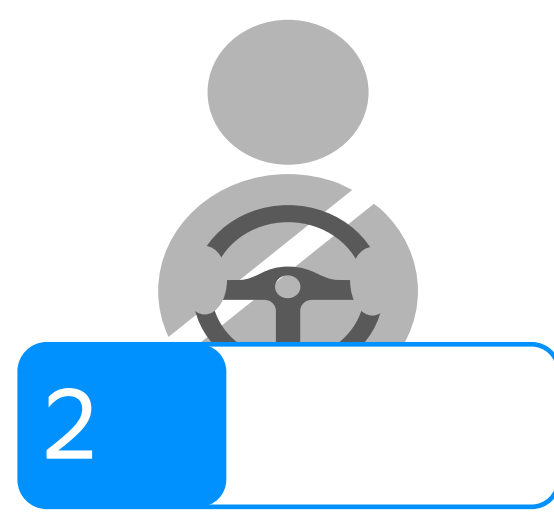
Никакой автоматизации

Водитель полностью контролирует выполнение задач



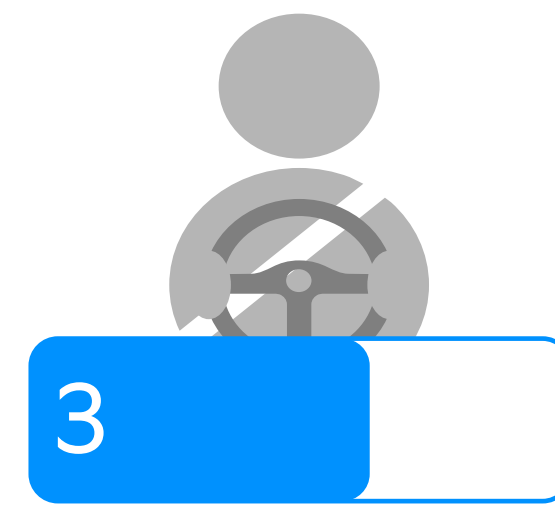
Помощь водителю

Есть единая автоматическая система



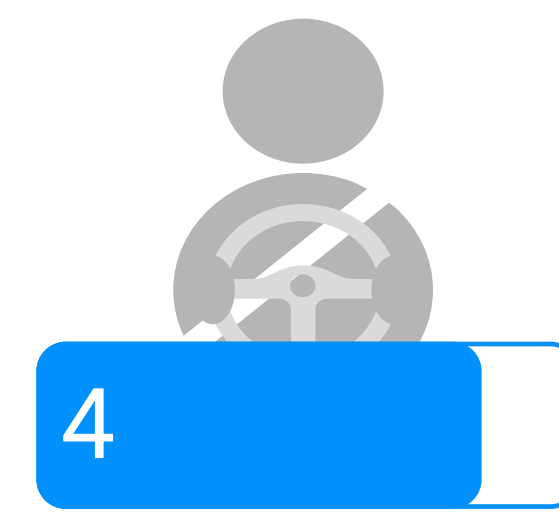
Частичная автоматизация

Может выполнять рулевое управление и ускорение



Условная автоматизация

Может выполнять большинство задач по вождению



Высокая автоматизация

Все задачи по вождению
При определённых условиях



Полная автоматизация

Все задачи по вождению
В любых условиях

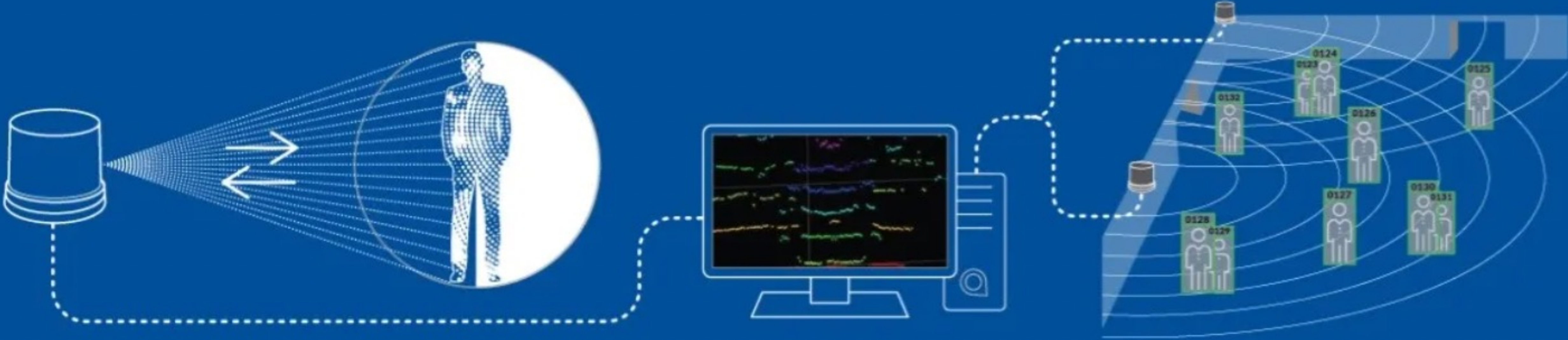


2

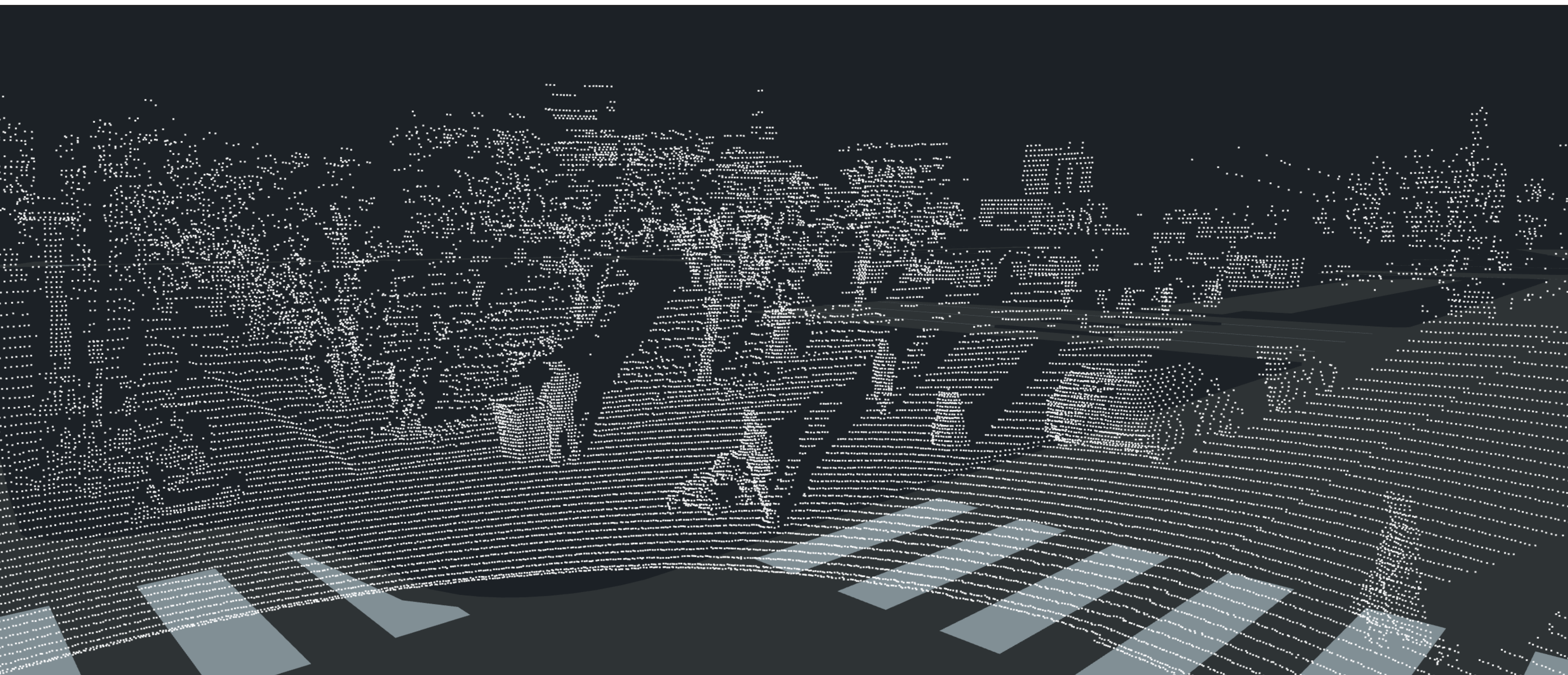
Зачем использовать лидар



Принцип действия Лидара



Облако точек

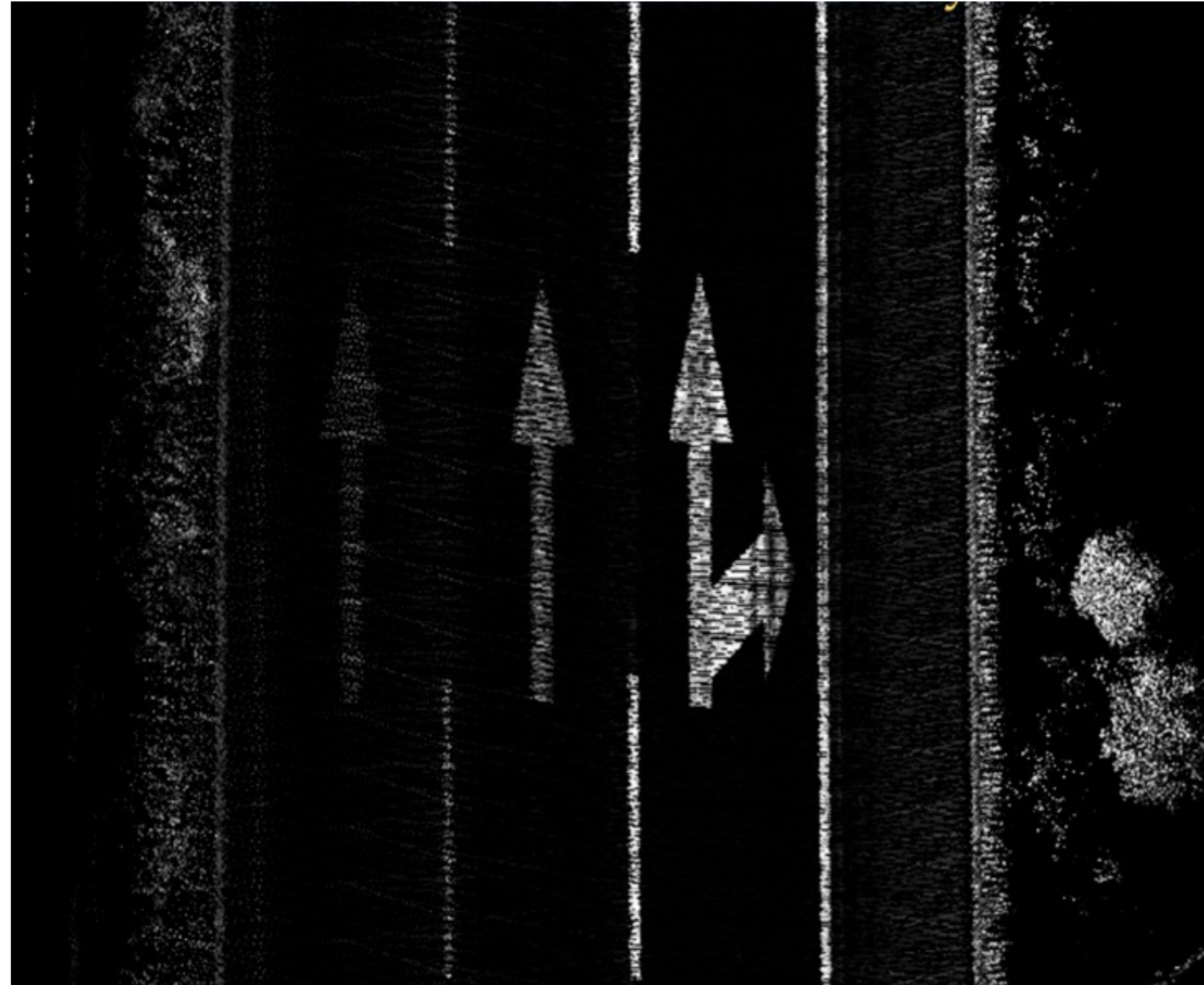


Сравнение сенсоров

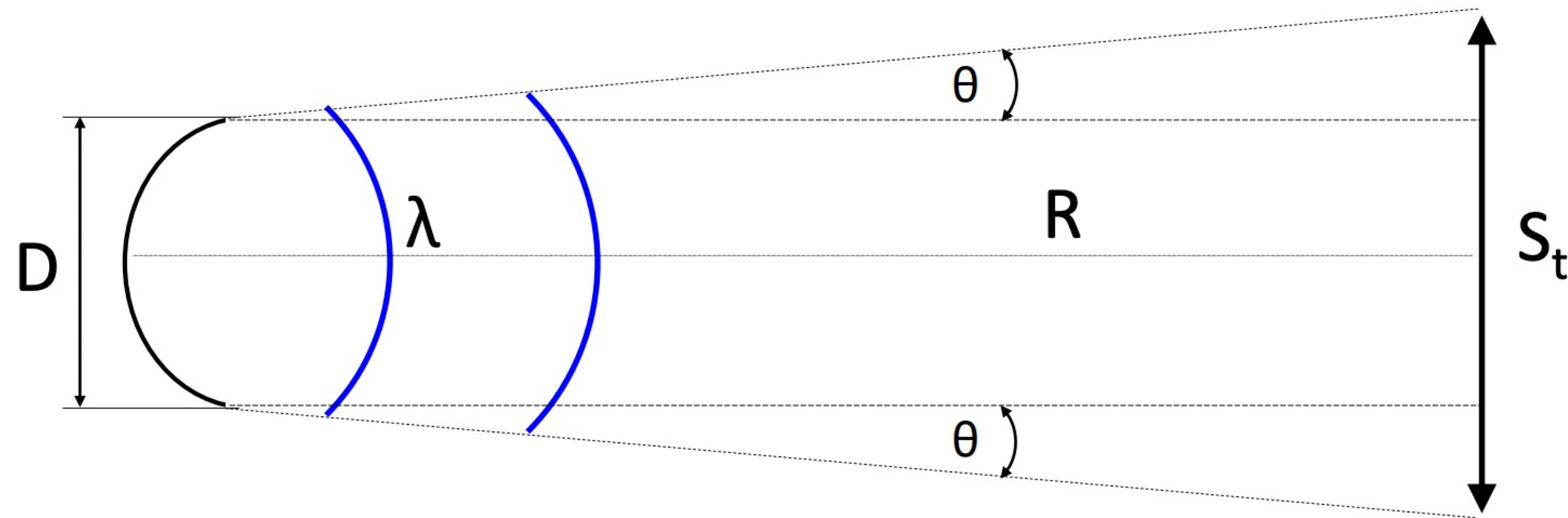
Параметр	ТВ камера	Радар	Лидар
Угловое разрешение	●	●	●
Разрешение по глубине	●	●	●
Определение скорости	●	●	●
Диапазон глубин	●	●	●
Распознавание знаков	●	●	●
Точность контуров объектов	●	●	●
Распознавание разметки	●	●	●
Распознавание цветов	●	●	●
Влияние погоды	●	●	●
Освещенность	●	●	●
Цена	●	●	●



Распознавание дорожной разметки



Расходимость луча



Дифракционная расходимость луча: $\theta \approx 1.22\lambda/D$

Радар: 77 GHz $\rightarrow \lambda = 0.3$ cm

$D = 20$ cm $\rightarrow \theta \approx 1^\circ \rightarrow S_t \approx 1.8$ m + 0.2 m = **2 m @ R = 100 m**

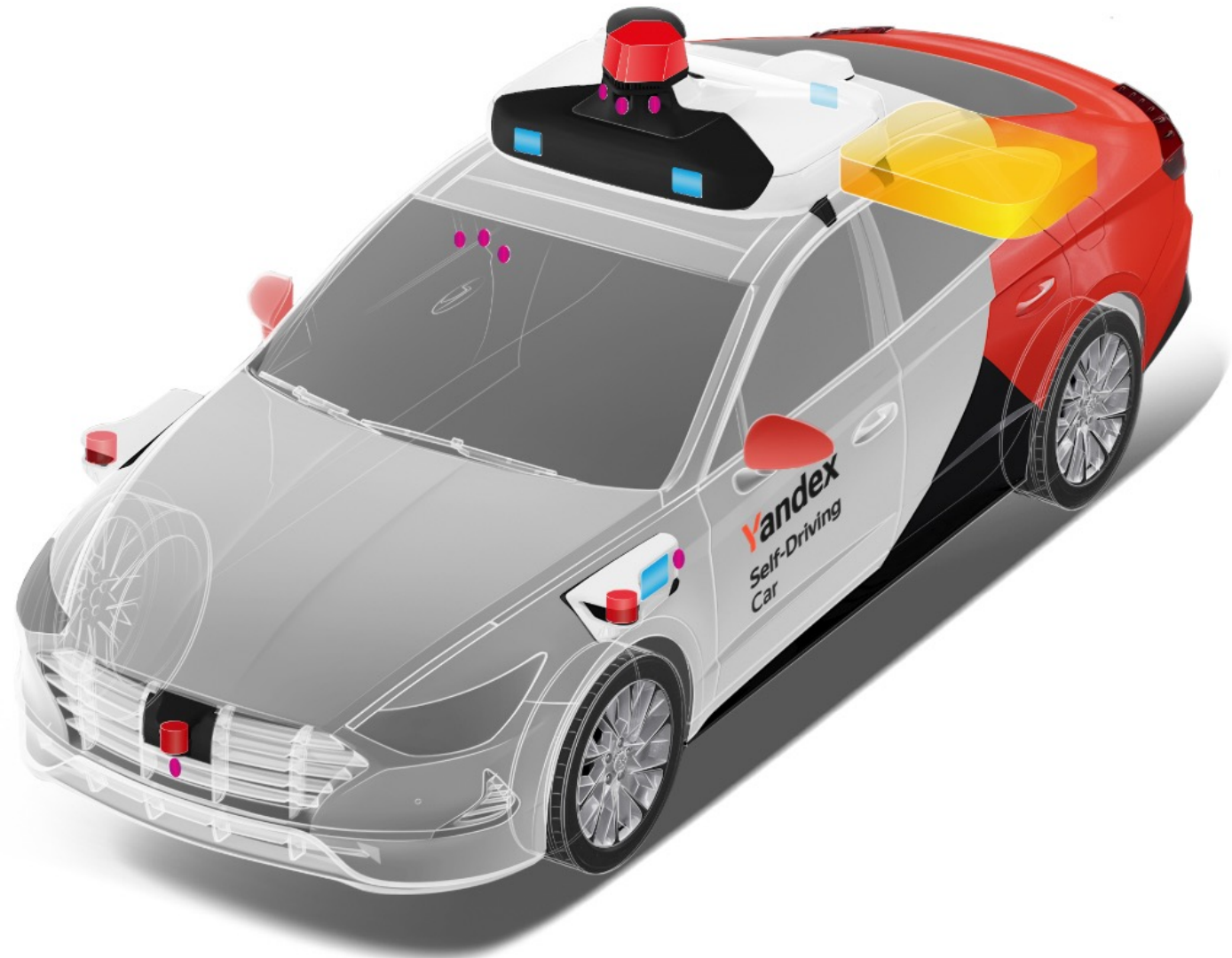
Лидар: 1550 nm

$D = 5$ mm $\rightarrow \theta \approx 0.02^\circ \rightarrow S_t \approx 3.7$ cm @ R = 100 m

* данные с сайта: hamamatsu.com



Сенсоры на борту



- Лидары
- Радары
- Камеры



- Лидар
- Радары
- Камеры
- Ультрасоники



3

Зачем
разрабатывать
самим



Зачем №2?



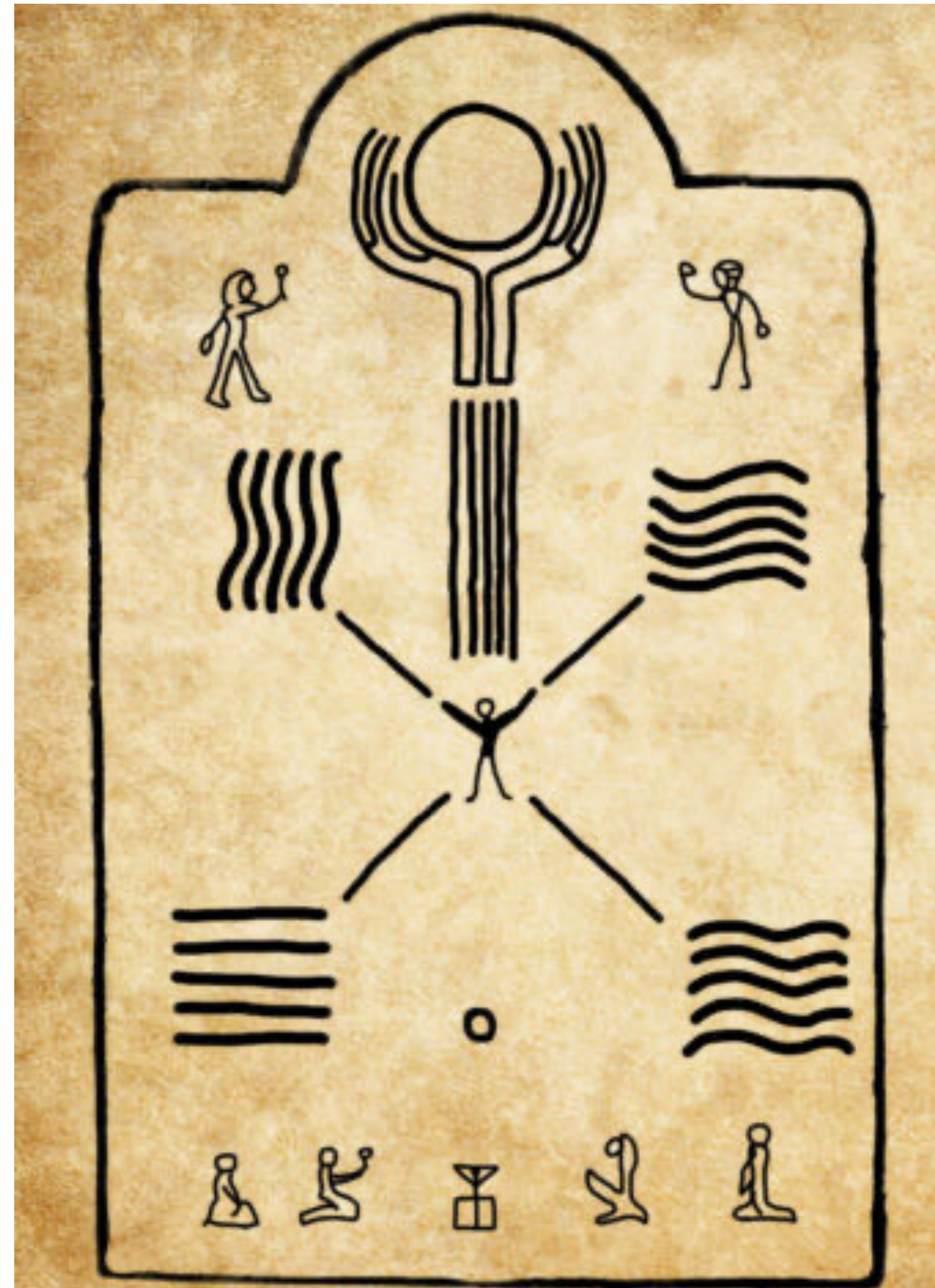
Зачем №2?



Лидар – «пятый элемент» технического зрения

ТВ камера

Радар



ИК камера

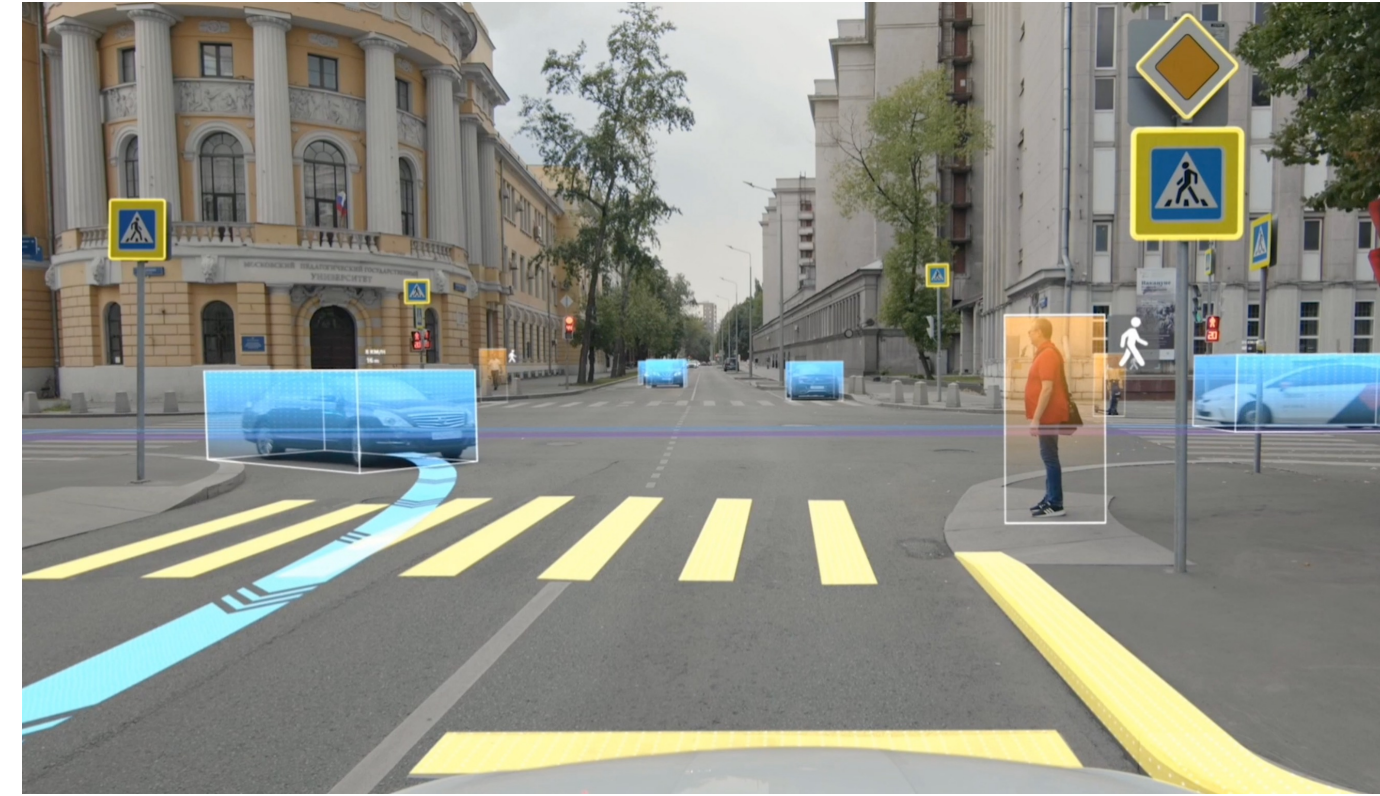
Ультрасоники



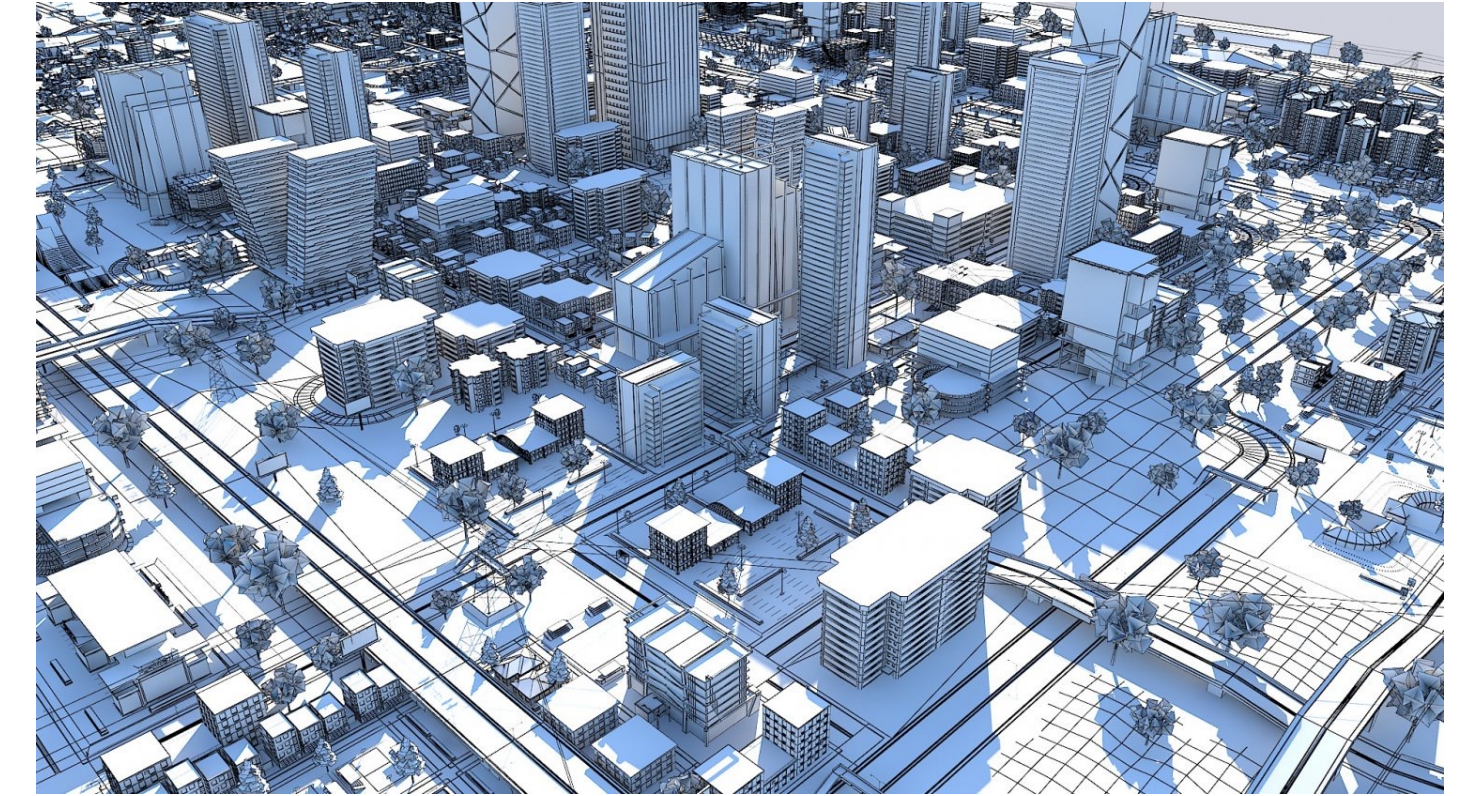
Функции лидара



Определение препятствий



Распознавание объектов



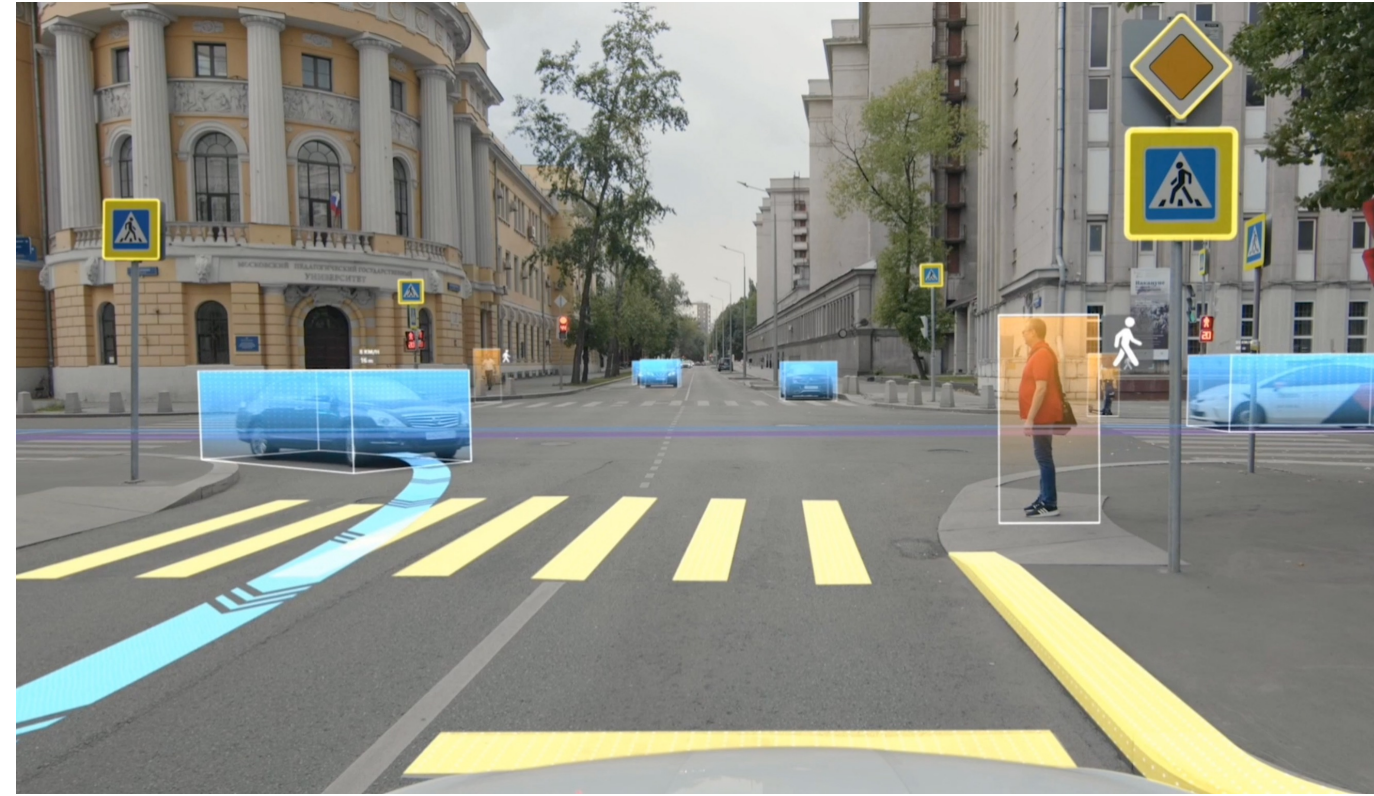
Построение 3D карт



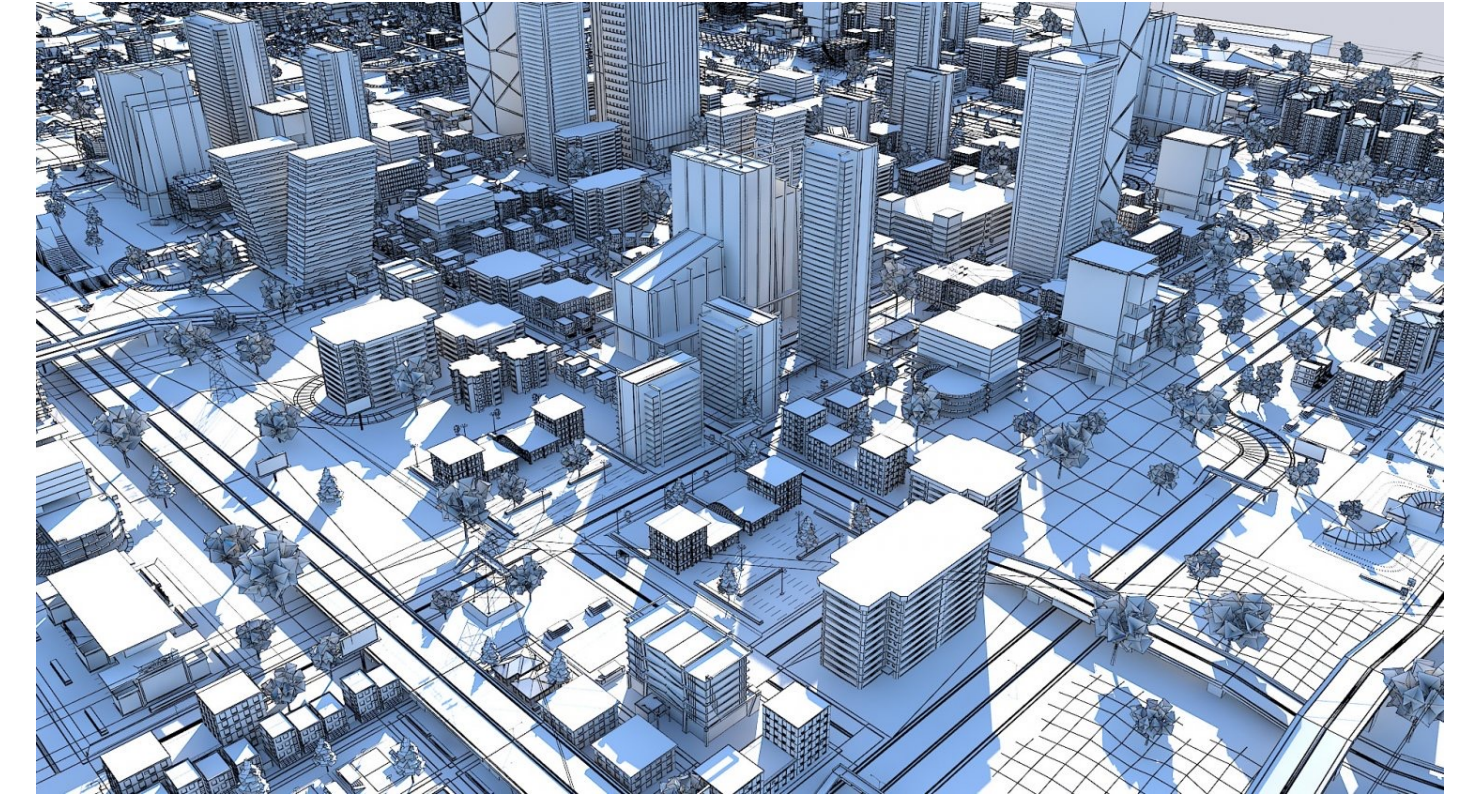
Функции лидара



Определение препятствий



Распознавание объектов



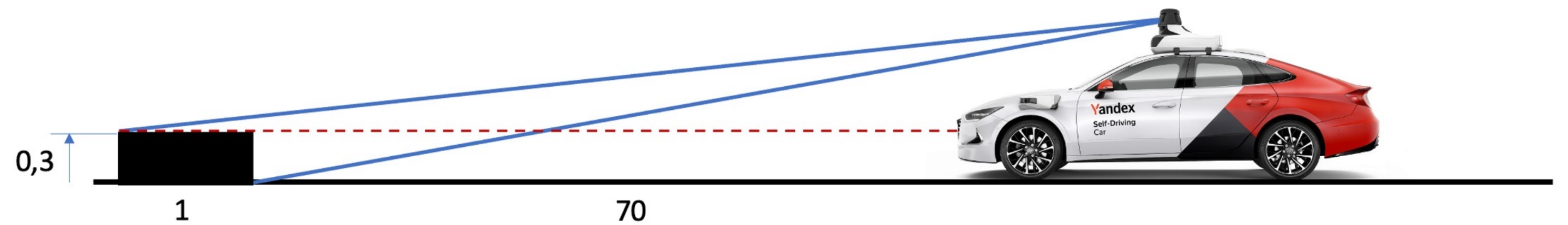
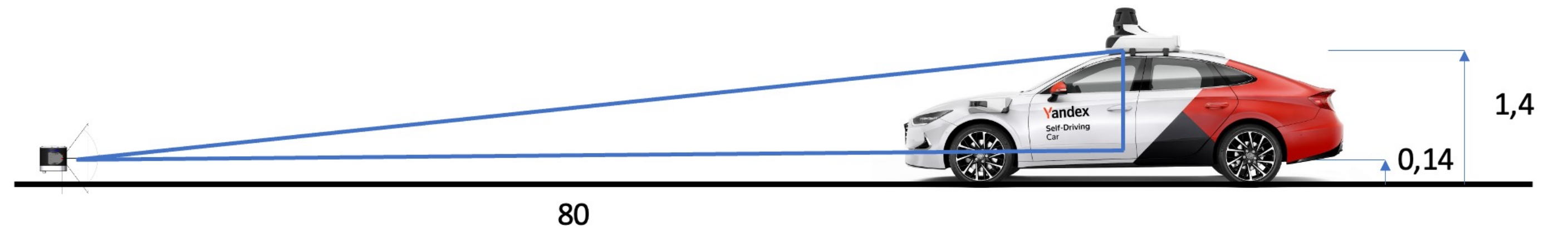
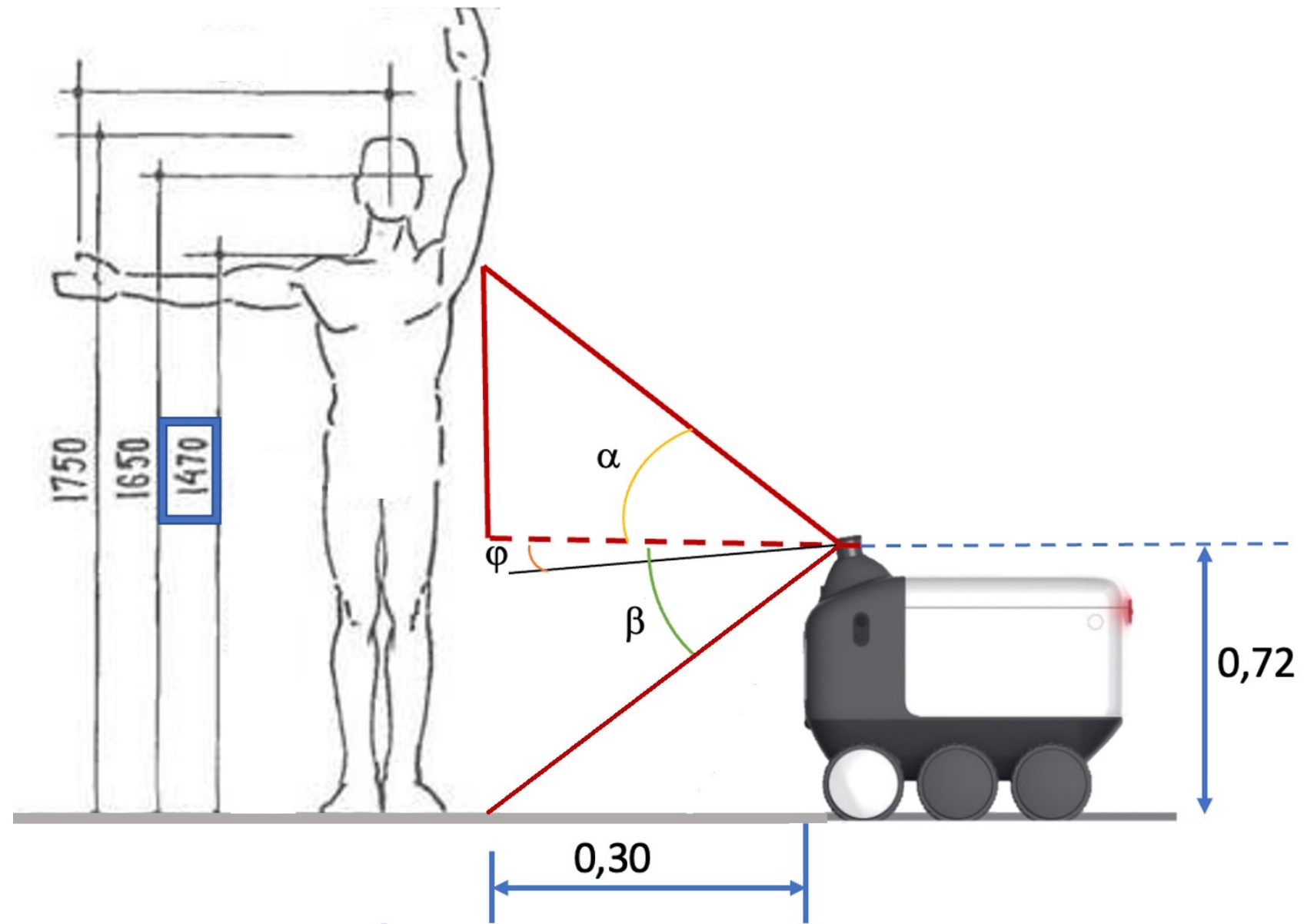
Построение 3D карт

Chinese Laser Sensor Maker Targeted as Tech Trade War Spreads - [Oct'31, 2023 The Wall Street Journal](#)

«Китай пригрозил ограничить экспорт китайских лидаров»
(China has threatened to restrict exports of Chinese lidar)

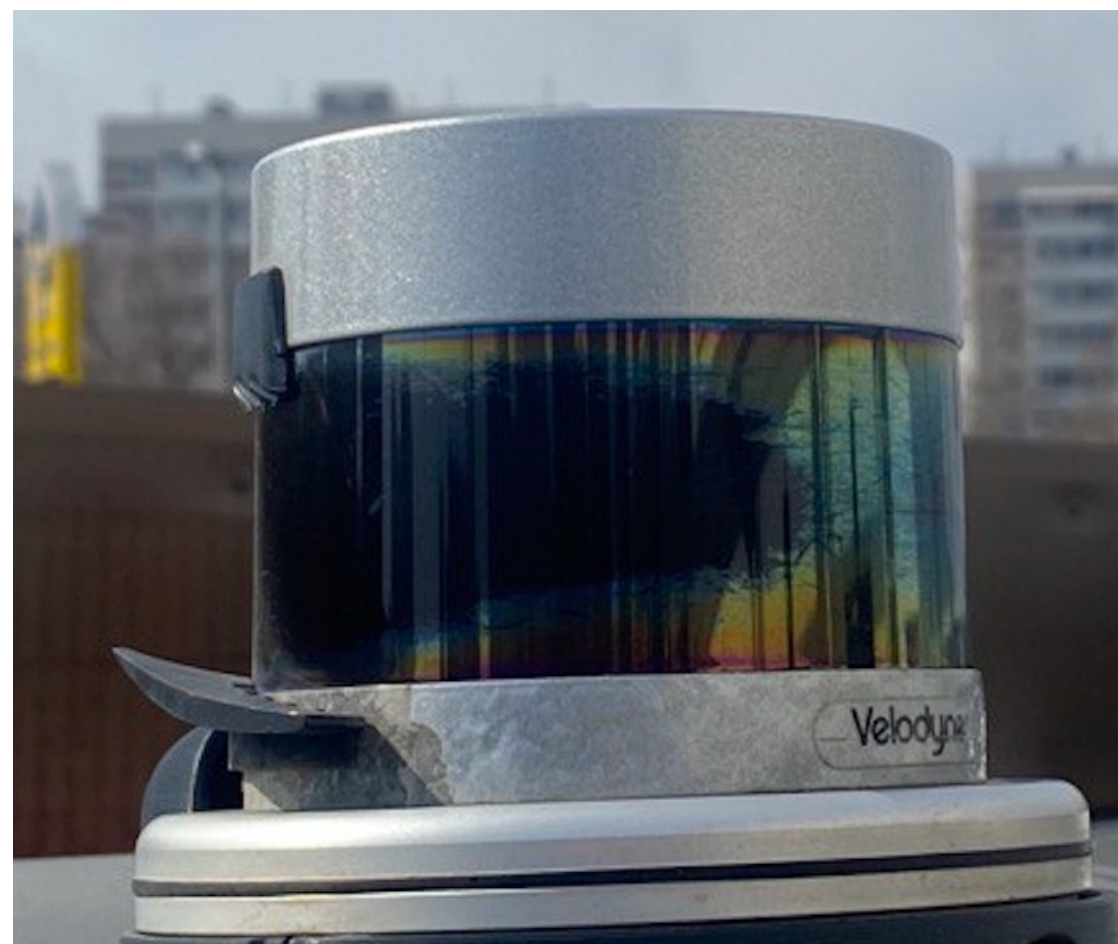


Разработать под свои требования



Уникальные особенности

- Измерение интенсивности
- Мультипики
- «Фокусировка»
- Система очистки
- Подогрев стекол
- Защита от «пескоструя»



4

Какие проблемы решили



С какими вызовами столкнулись

Высокая плотность компоновки
электронных компонентов

Большой объем вычислений
в реальном времени

Огромный динамический
диапазон входного сигнала

Короткая ширина импульсов лазера

Интенсивная солнечная засветка



С какими вызовами столкнулись

Высокая плотность компоновки электронных компонентов



Все собственной разработки, в том числе и матрицы

Большой объем вычислений в реальном времени



Вычисления на ПЛИС

Огромный динамический диапазон входного сигнала



Динамическое изменение чувствительности и мощности излучения

Короткая ширина импульсов лазера



Высокоскоростной импульсный драйвер и нитридгаллиевые транзисторы

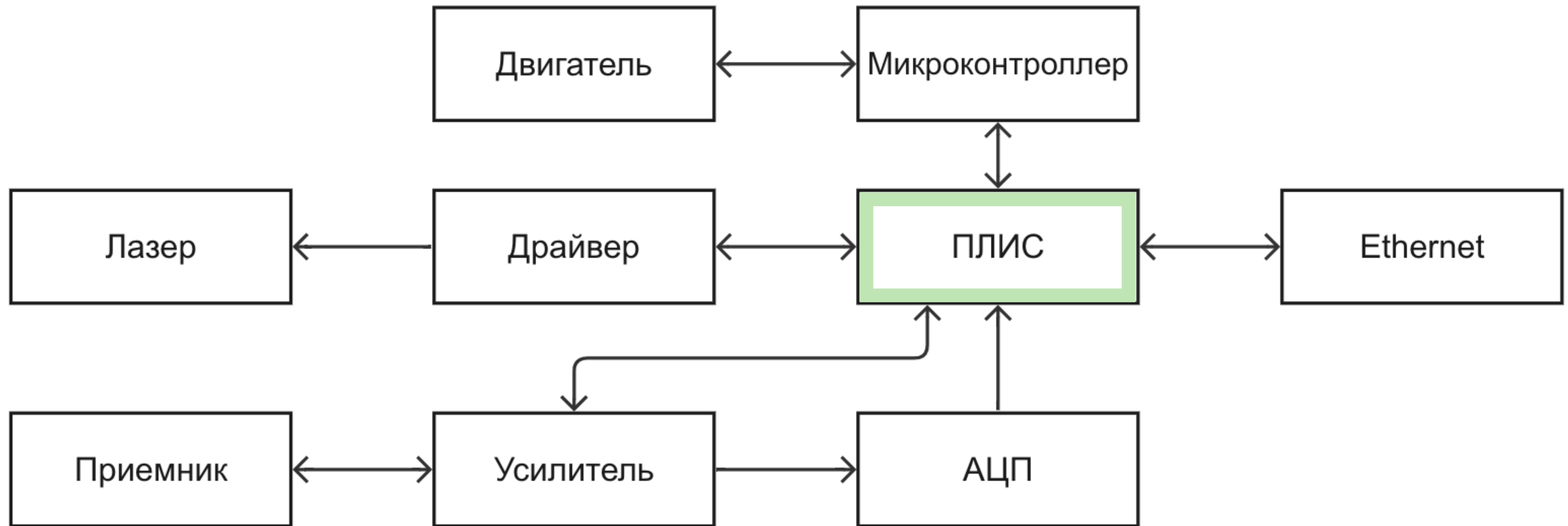
Интенсивная солнечная засветка



Расчёт оптики и системы светофильтров



Блок схема



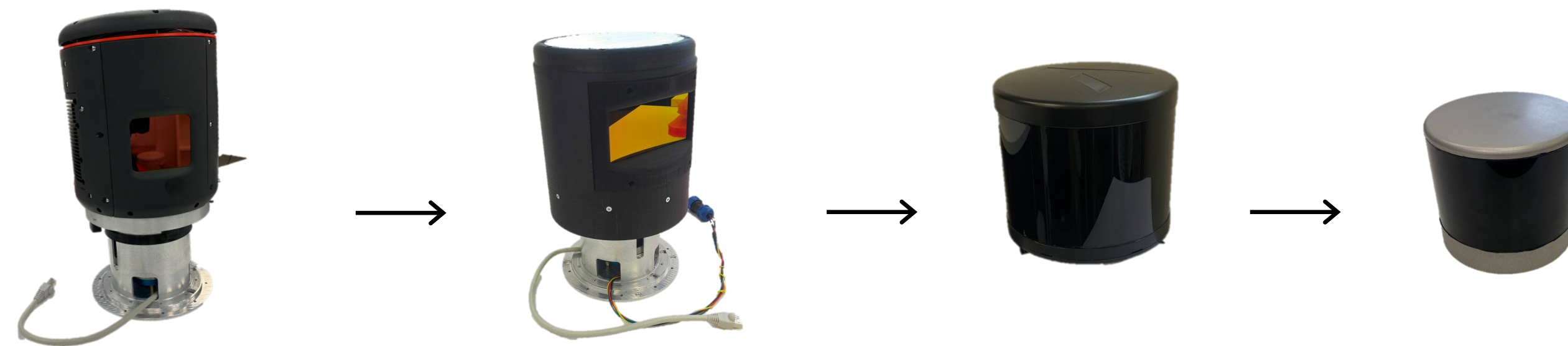
5

Что получили

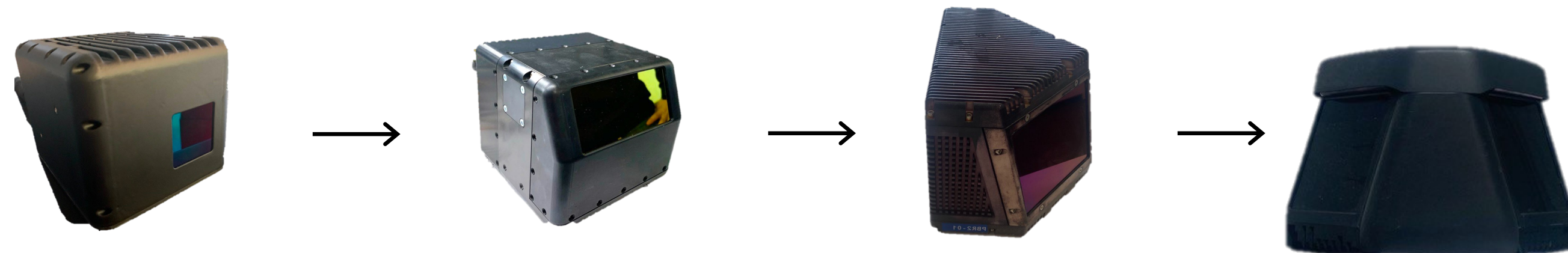


Хронология разработки лидаров

Круговой для
робота



Центральный
автомобильный



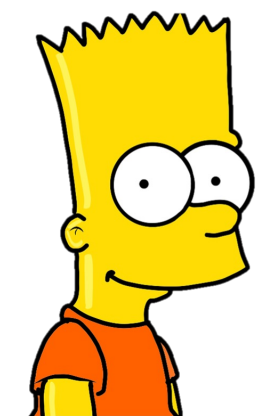
Дополнительный
автомобильный



Хронология разработки лидаров



Marge



Bart



Homer

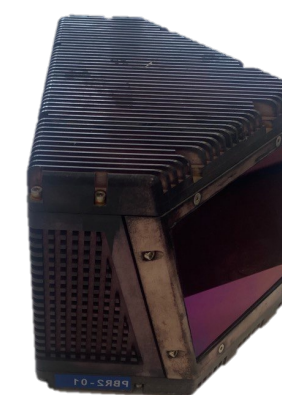
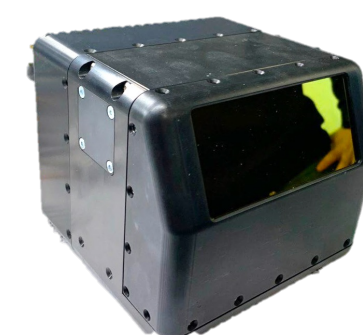
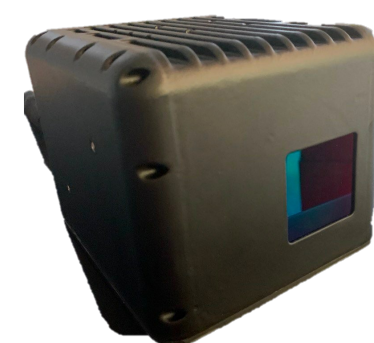


NanoHomer

Круговой для
робота



Центральный
автомобильный



Дополнительный
автомобильный



Хронология разработки лидаров



Marge



Bart



Homer

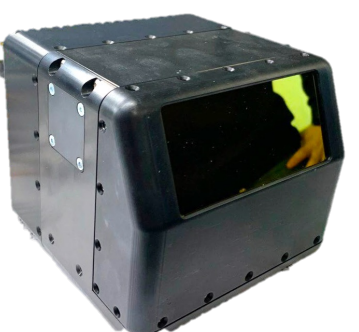


NanoHomer

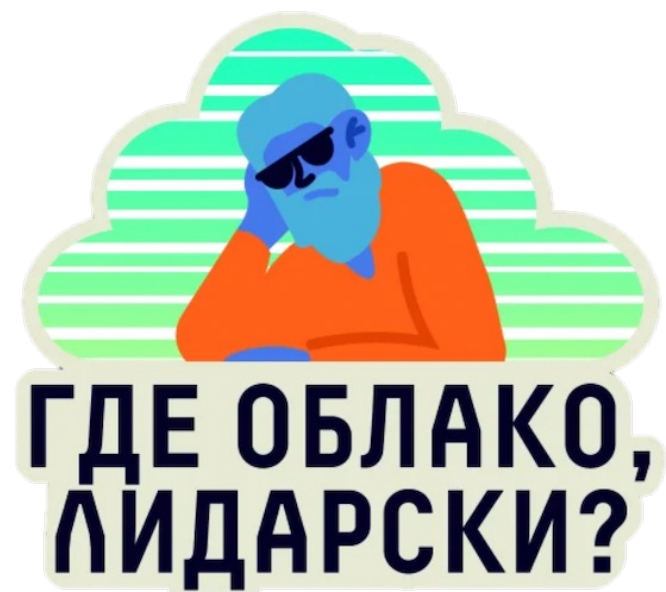
Круговой для
робота



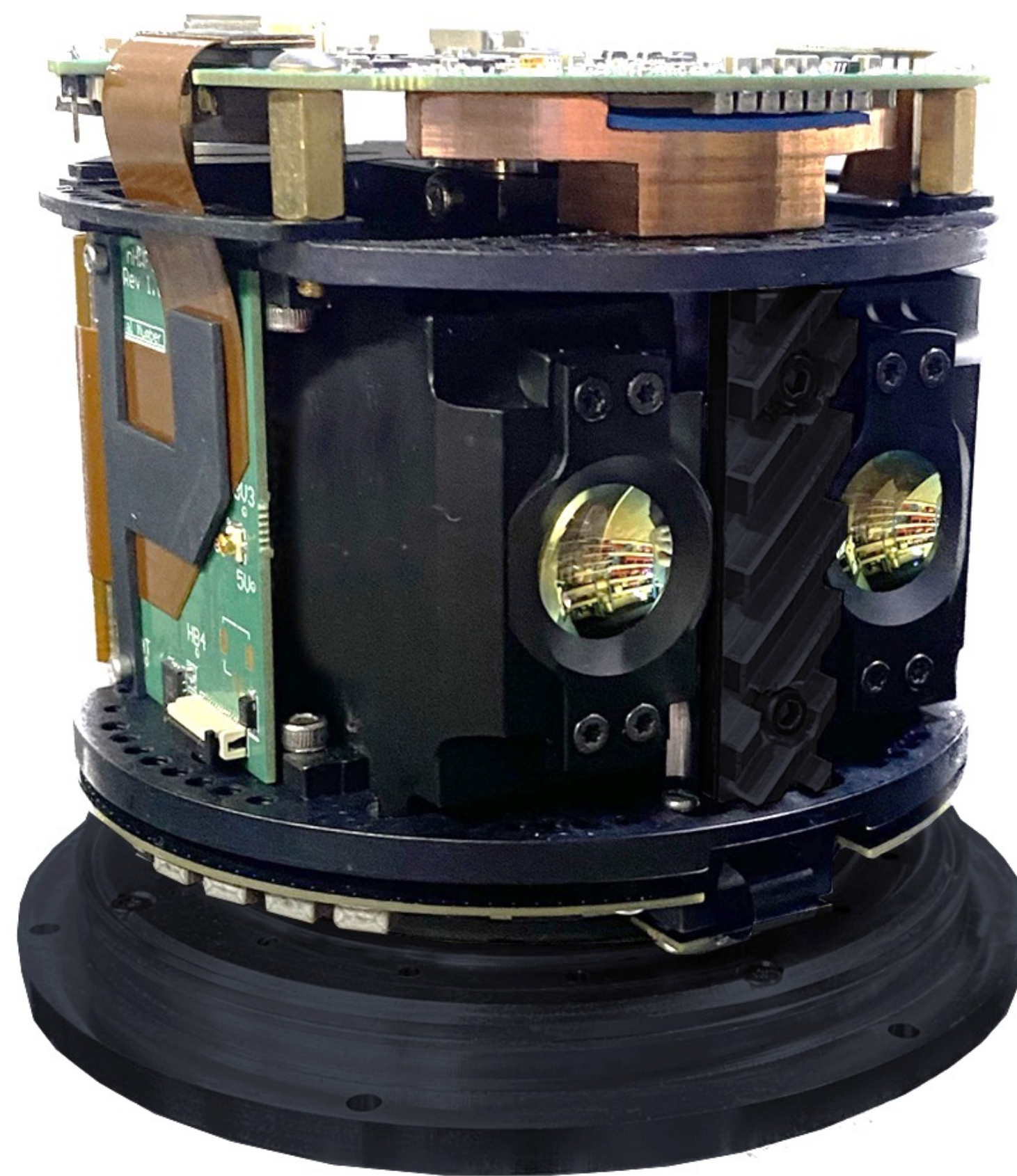
Центральный
автомобильный



Дополнительный
автомобильный



Лидар nanoHomer

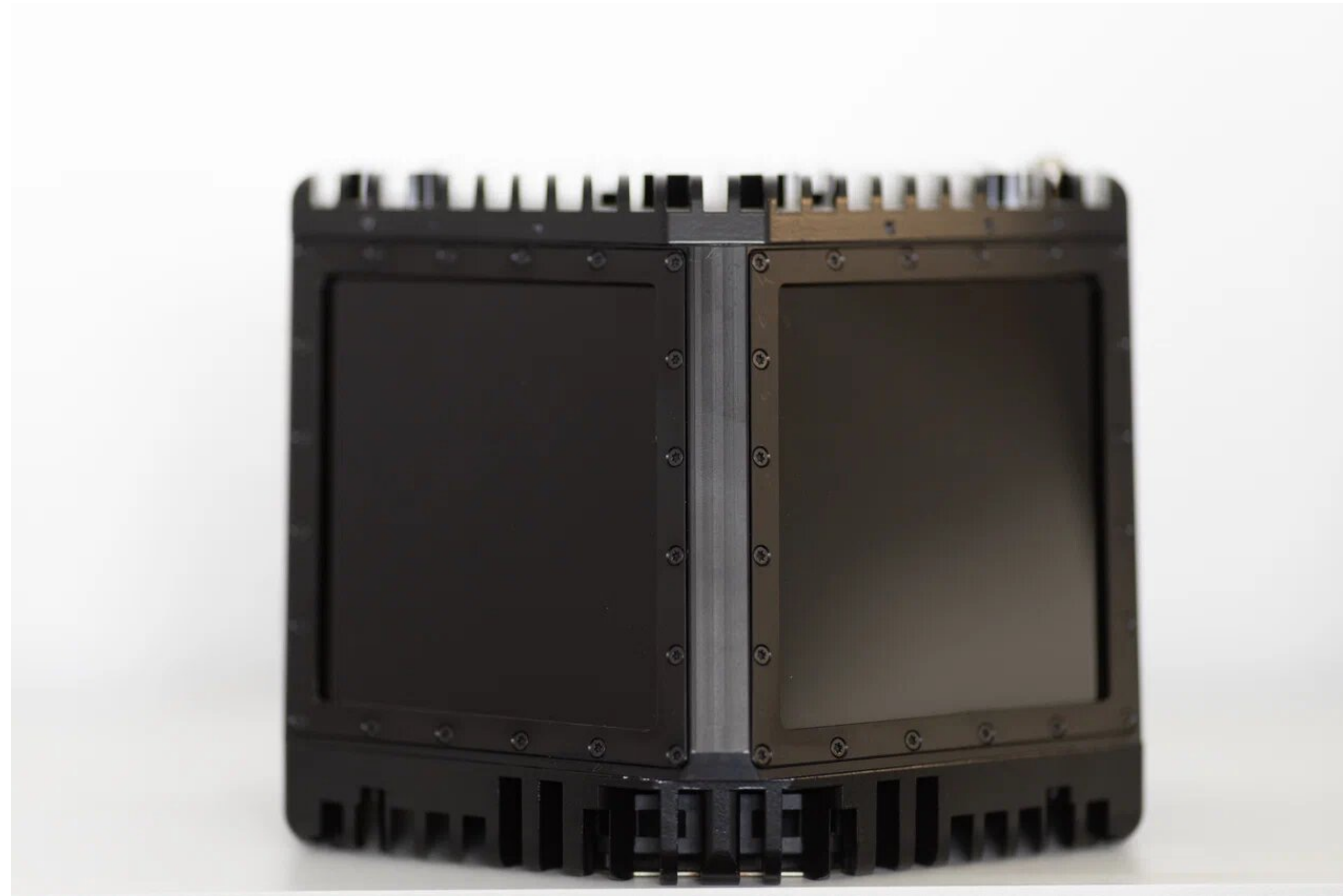


Сравнение с аналогами

Параметр	Yandex nanoHomer	RoboSense RS-Helios5515	Hesai QT64
Количество лучей	64	32	64
Максимальная дальность, м	100	100	50
Двойной угол по верт.	105,6°	70°	104,2°
Определение интенсивности	+	+	-



Лидар РВР



Основные характеристики лидара РВР

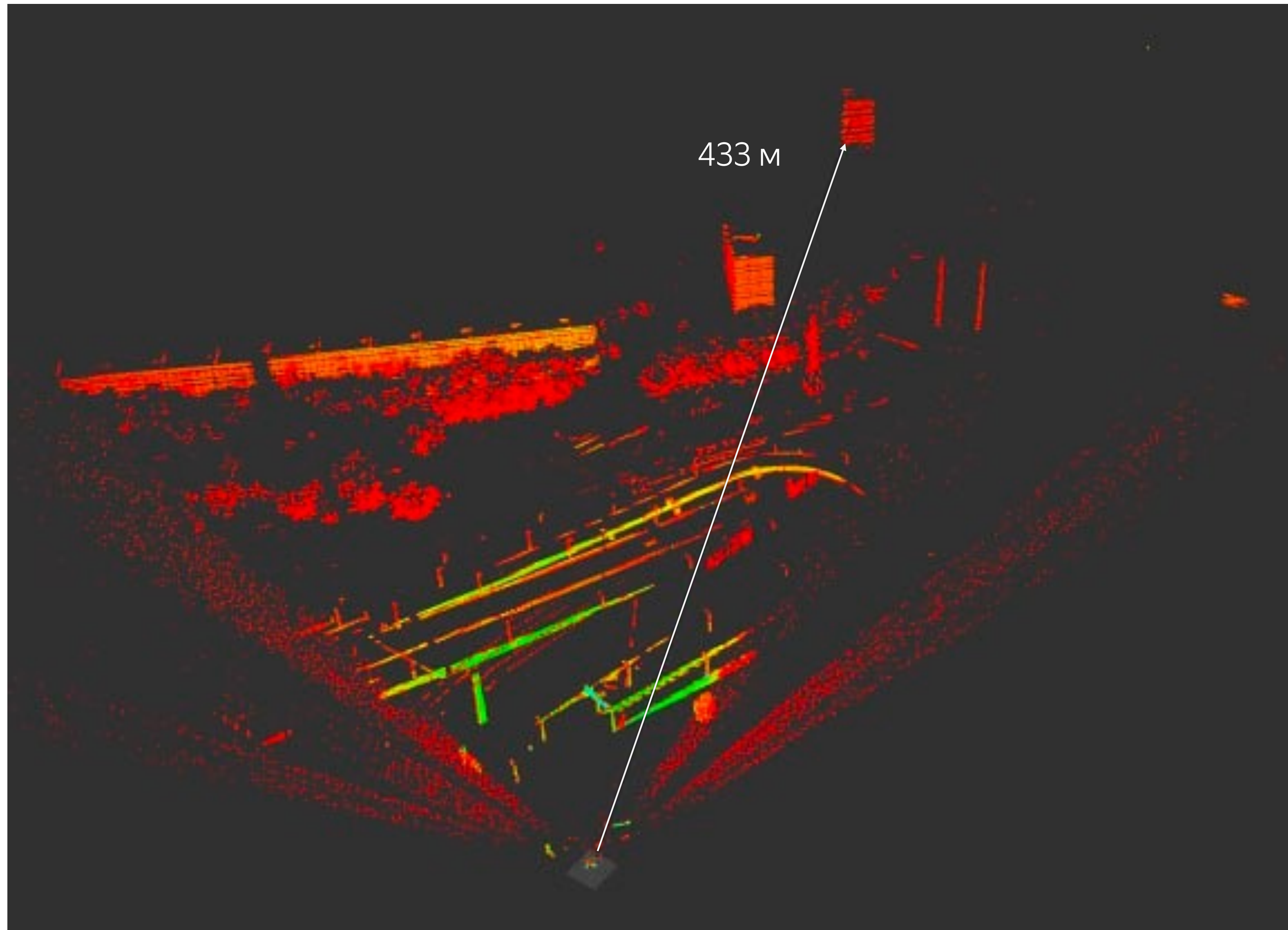
Параметр	Значение
Количество линий по вертикали	76
Максимальная дальность	450 м
Минимальная дальность	1 м
Угол по горизонтали	360°
Угол по вертикали	30°
Определение интенсивности	+
Определение нескольких отражений	+ (3 отражения)
Встроенная система очистки	+
Возможность выбора области интереса	+
Скорость передачи данных	600 Мбит/сек



Лахта центр имеет высоту 462 м



Облако точек лидара PBR



На дистанции 433 м получили плотное облако точек, по которому можно точно распознать, что за объект мы наблюдаем.



Установка лидара РВR на автомобиль



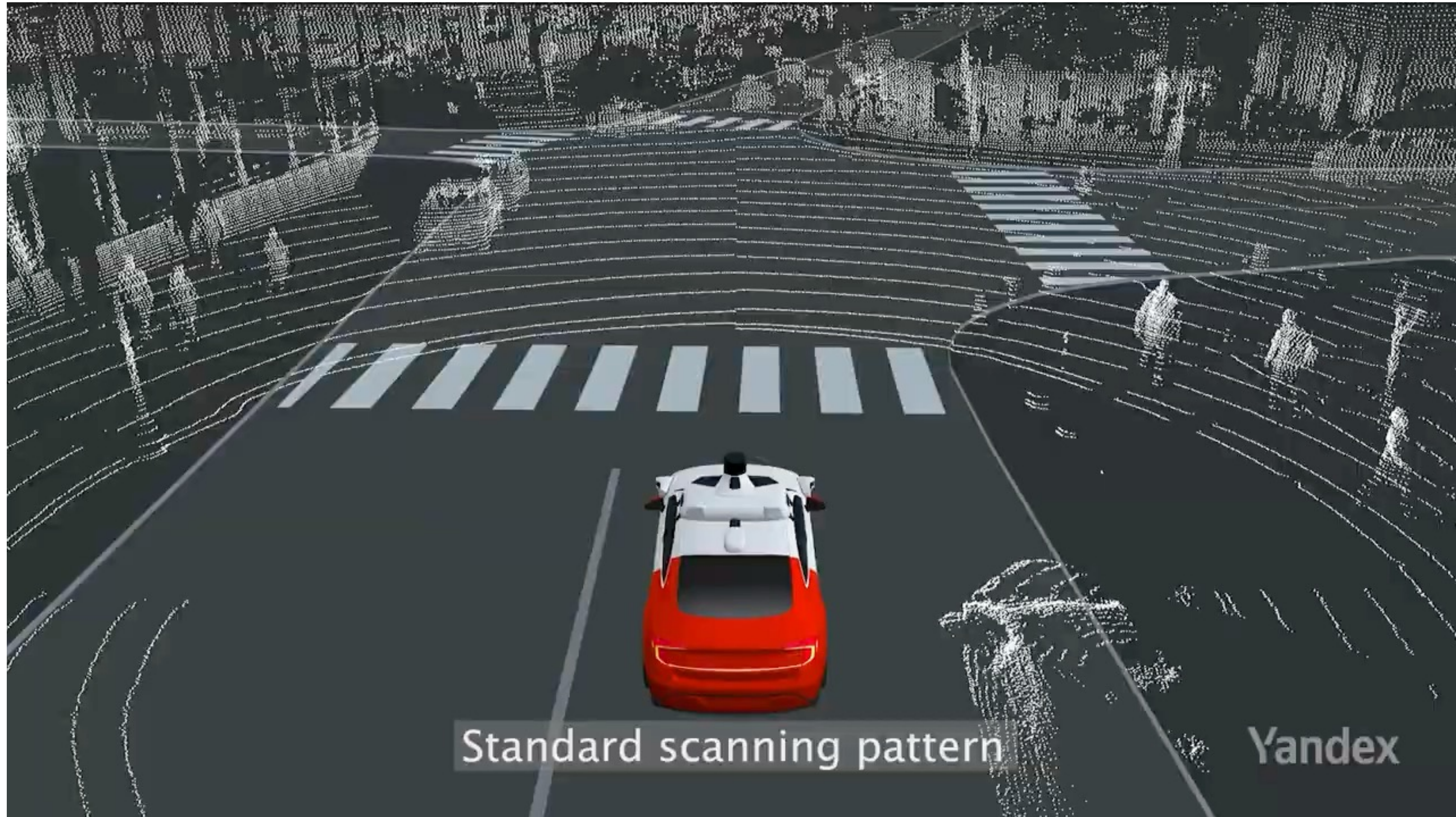
Калибровка сенсоров



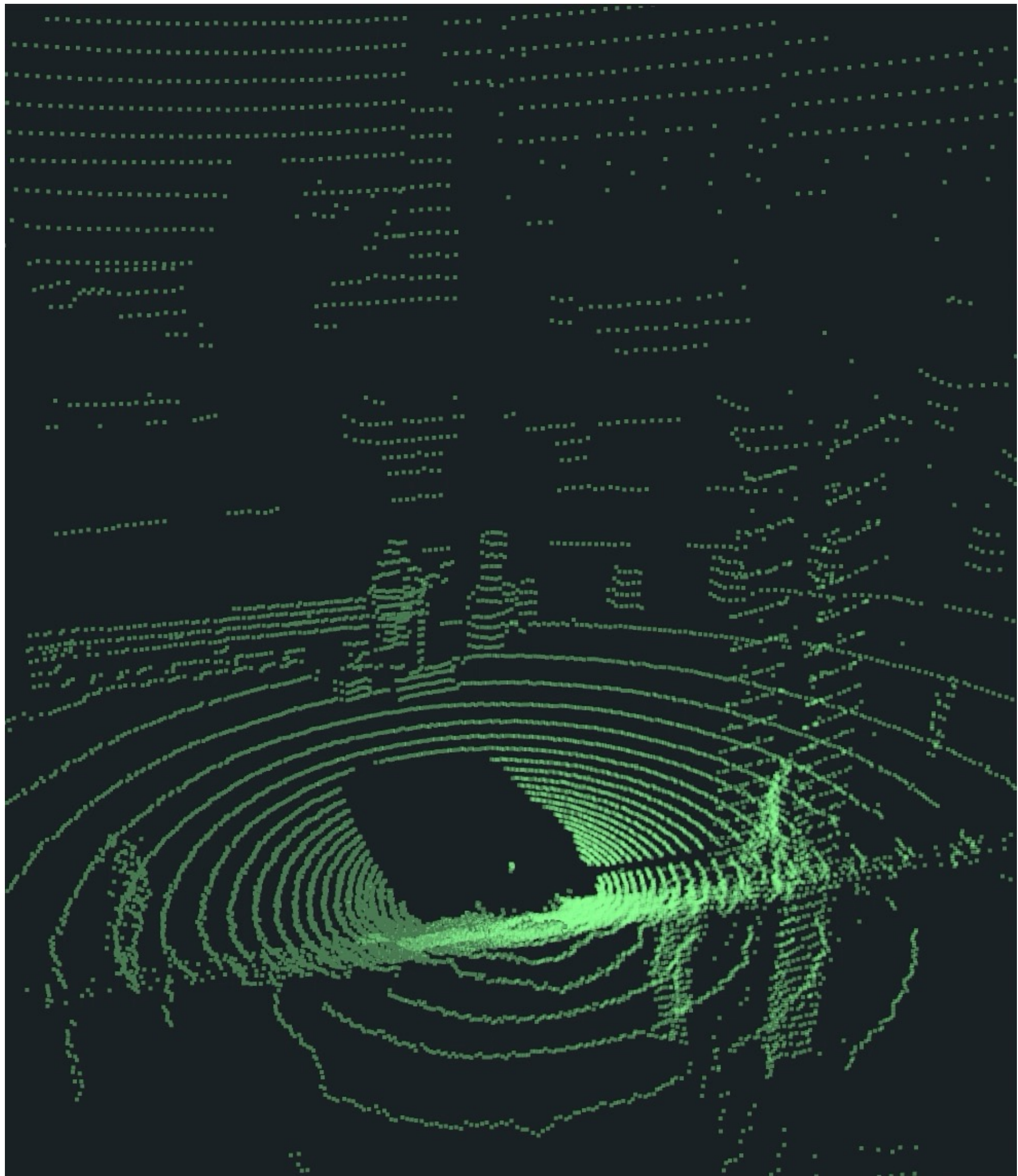
Наш флот



Результат работы лидара на автомобиле



Результат работы лидара на роботе



Спасибо за внимание!

Георгий Никандров

Руководитель службы
Яндекс Беспилотные Технологии

 georgynik@yandex-team.ru

 [@Georgii_Nikandrov](https://t.me/@Georgii_Nikandrov)

