



Теория лазерного сканирования

13.05.2024





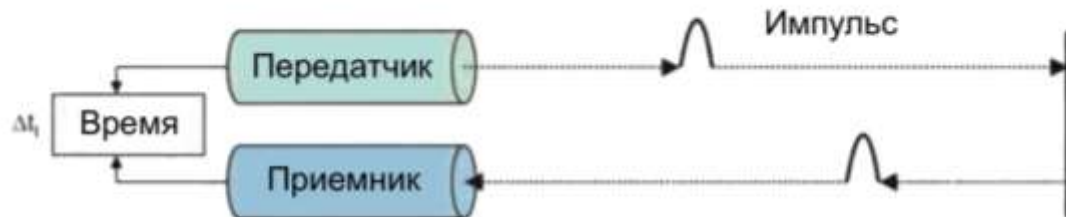
01

О технологии лазерного сканирования

Что такое лидар?

LiDAR = Light Detection and Ranging

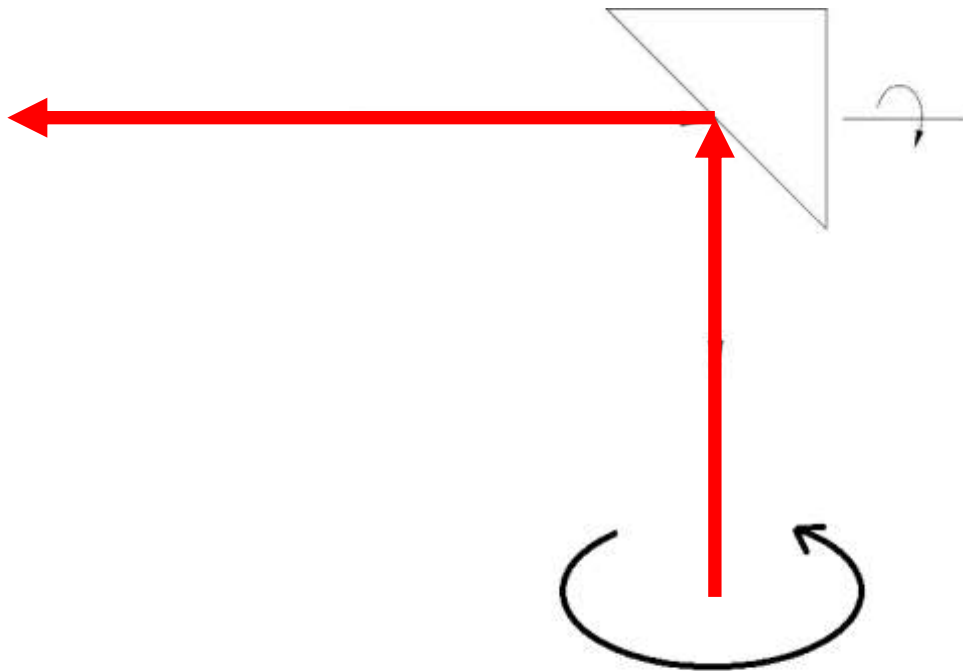
TOF = Time Of Flight



$$s = \frac{c}{2} \cdot \Delta t$$

Что такое лидар?

От измерения дальности к 3Д облаку точек



Существующие технологии сканирования

■ Наземное

Типичные сканеры

■ Воздушное на БПЛА

Съемка с воздуха на беспилотных аппаратах

■ Воздушное на ЛА

Съёмка с воздуха на пилотируемой авиации

■ Мобильное

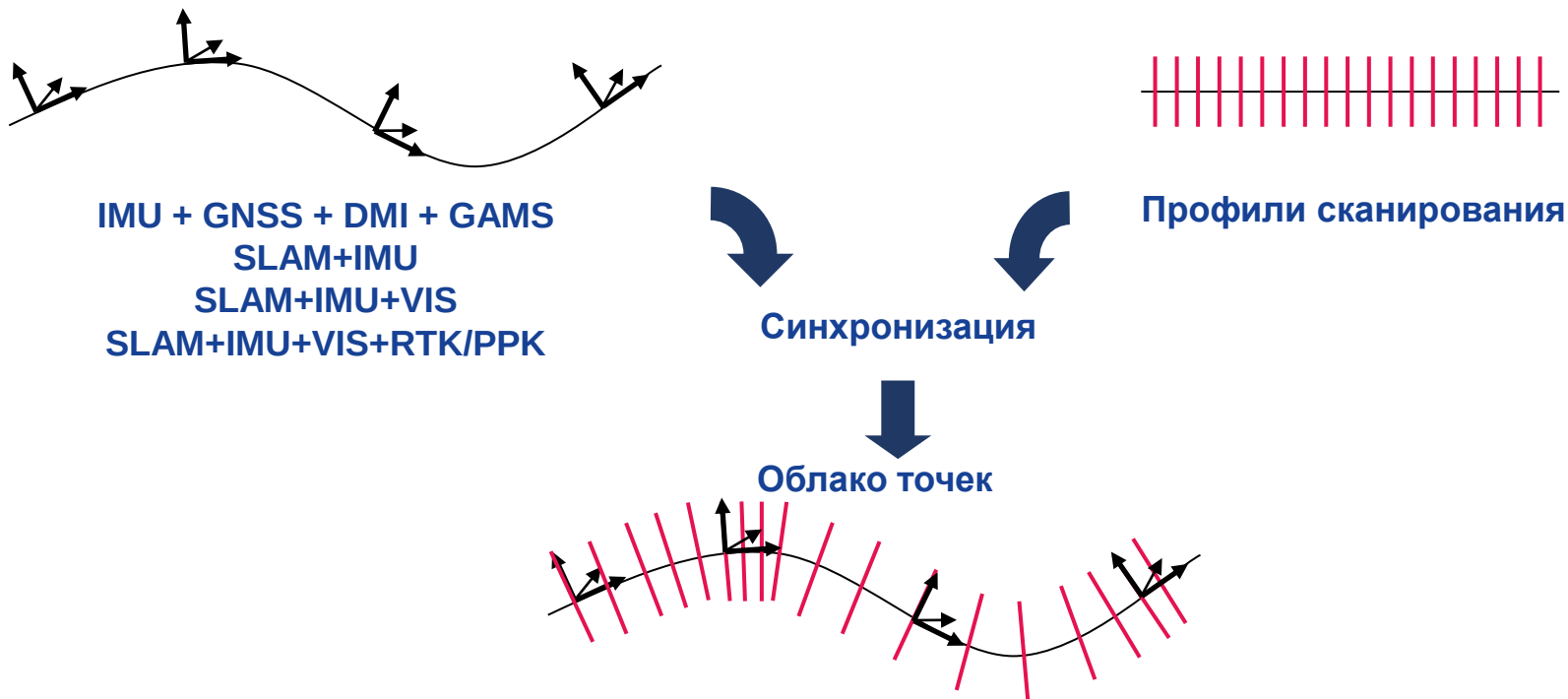
Съемка с земли, ТС – машина, человек, катер, поезд

■ SLAM

Simultaneous localization and mapping

Основы сканирования

Мобильное сканирование (MLS) основано на определении траектории движения



На что обращать внимание в лазерном сканировании

Типы сканирующих головок

Конструкция сканера влияет на качество и вид облака точек

■ Профилографы (mechanical)

Один луч, большая скорость вращения
50-600 Гц

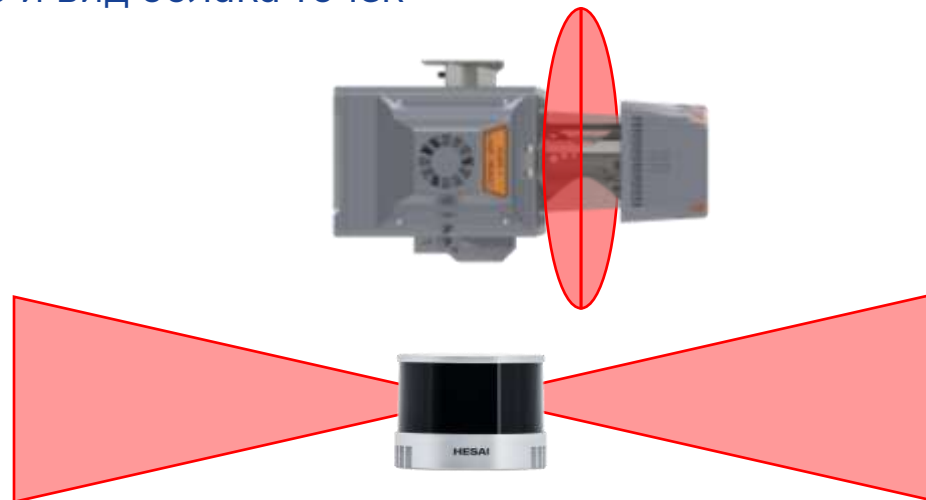
Вращение вокруг второй оси делает из
профилографа наземный сканер.

■ Многолучевые

16/32 лучей, скорость сканирования
5-20 Гц

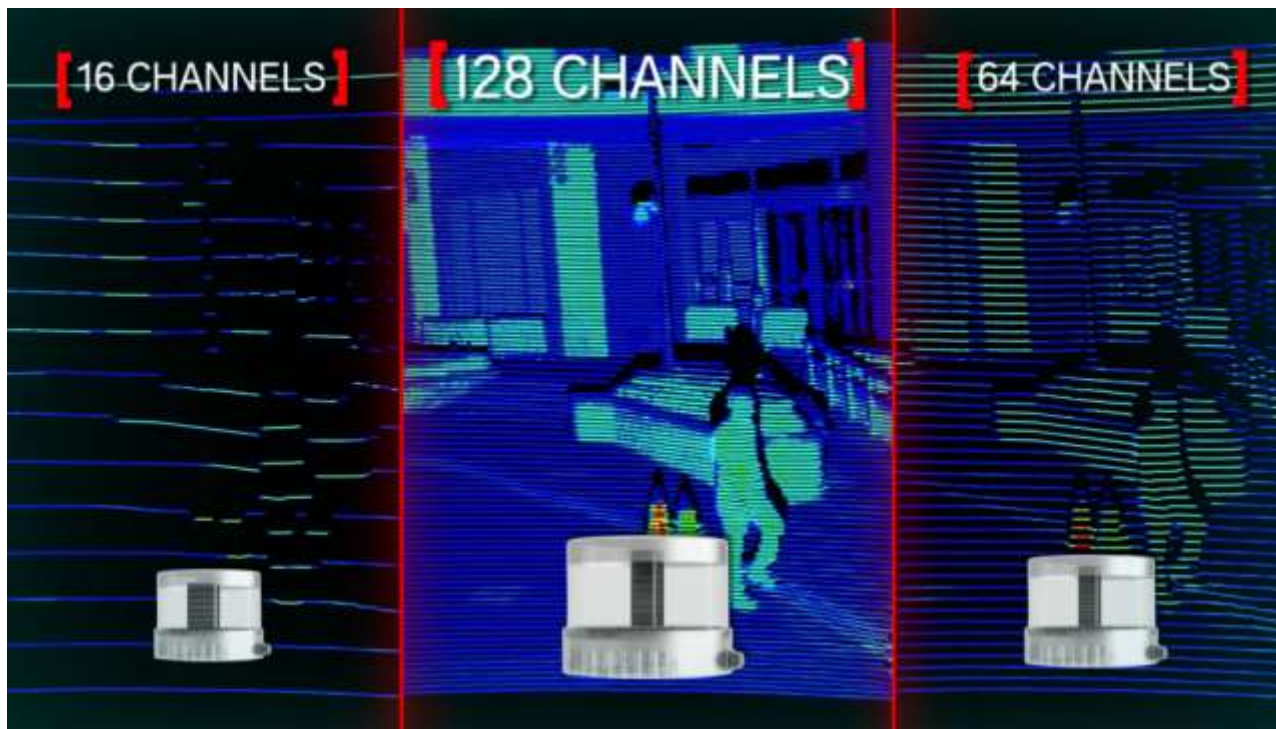
■ Твердотельные (solid state)

Большой срок службы, низкая точность,
малая дальность



Количество лучей / каналов

Больше каналов = лучше?



Скорость сканирования

Pulse Repetition Rate (PRR)

- 500 000 - 2 000 000 импульсов в секунду

Скорость сканирования (изм./сек) ²⁾	42 000	125 000	250 000	500 000
Наибольшее измеряемое расстояние ⁴⁾				
до целей с коэф. отражения $\rho \geq 90\%$	800 м	480 м	350 м	250 м
до целей с коэф. отражения $\rho \geq 20\%$	400 м	230 м	160 м	120 м



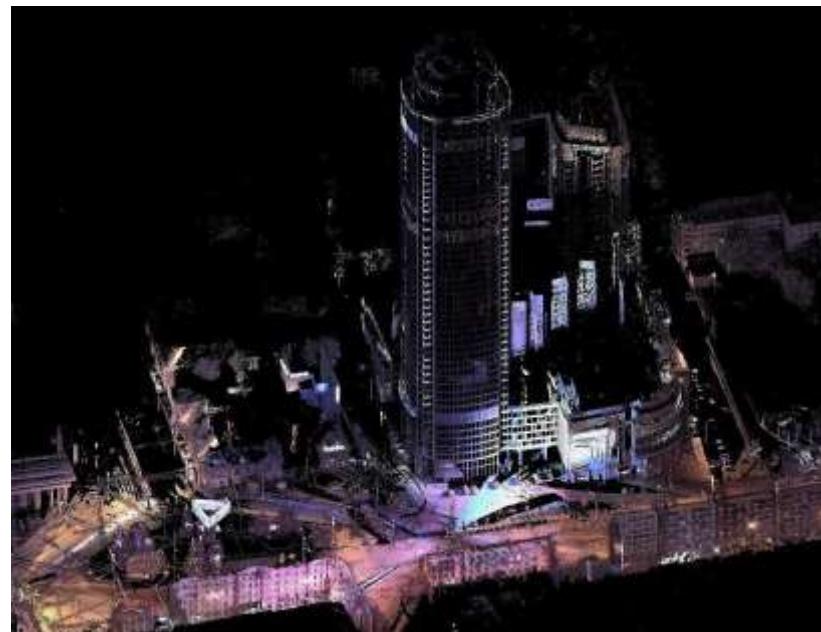
Дальность сканирования

Дальность важна по разному для различных вариантов применения. На земле применимы дальности 50-100 м.

Большая дальность нужна

- при съёмке с воздуха
- при съёмке карьеров

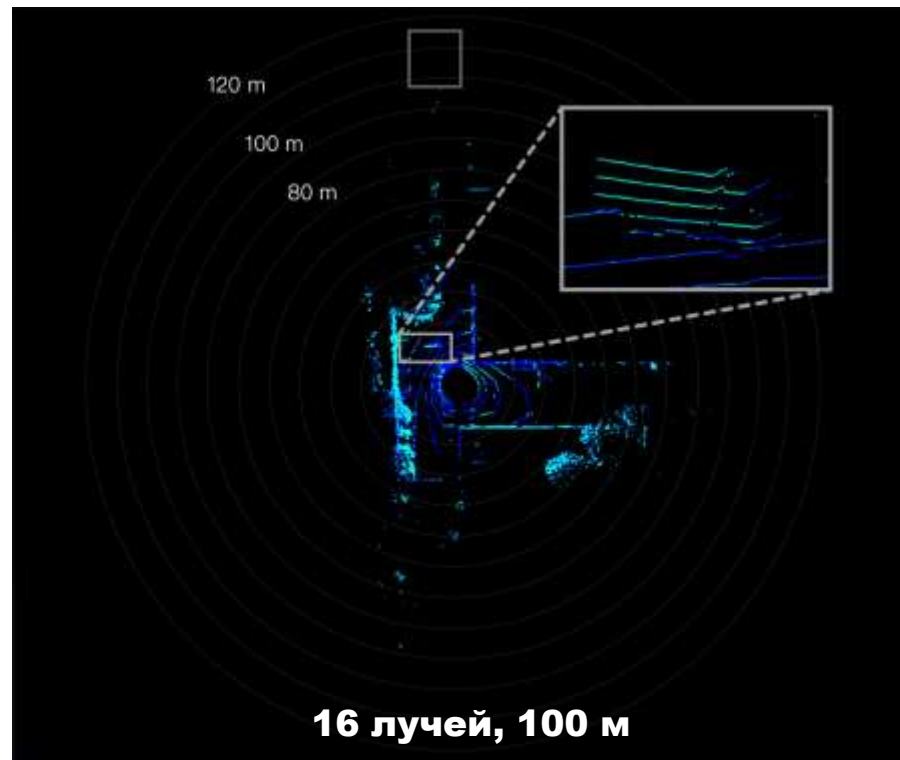
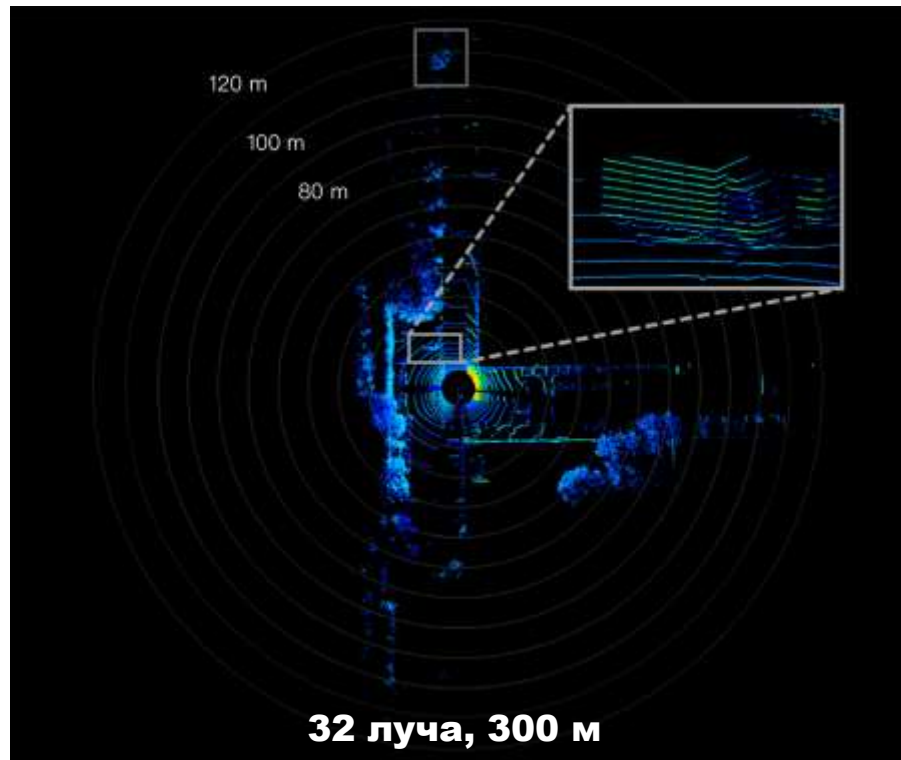
Важно понимать, что чем выше дальность, тем ниже точность и меньше плотность



Дальность сканирования

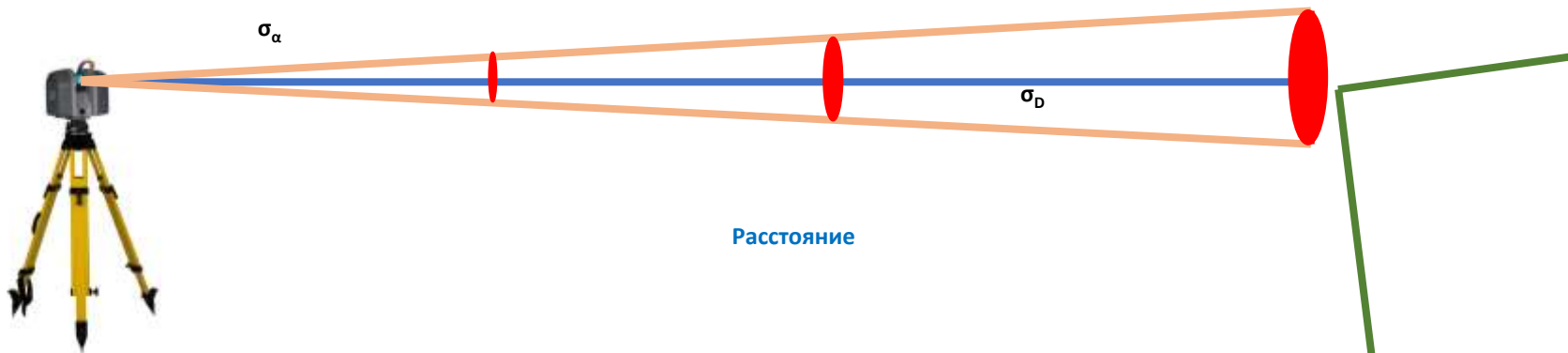
Количество импульсов, кГц	300	500	1000	1800
Дальность, м				
Поверхность с отражающей способностью >10%	170	130	85	85
Поверхность с отражающей способностью >80%	475	370	235	235
Количество отражений	15	15	9	4

Дальность сканирования



Погрешность измерений

- угловая σ_α
- линейная $\sigma_D = \text{мм} + \text{мм/км}$
- точность 3D
- относительная
- абсолютная



Погрешность измерений

- 3D точность для разных расстояний и поверхностей с разной отражающей способностью

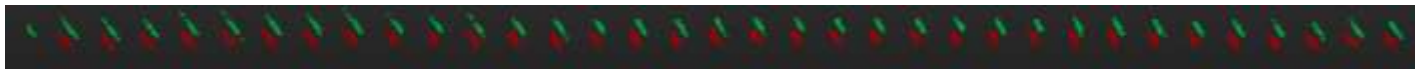
Альбедо	Расстояние (м)				
	5	10	20	40	60
Белый 89%	1.4 мм	1.9 мм	2.9 мм	5.3 мм	7.8 мм
Серый 21%	1.5 мм	2.0 мм	3.2 мм	5.7 мм	8.2 мм
Чёрный 8%	1.6 мм	2.2 мм	3.4 мм	6.1 мм	8.8 мм

Погрешность измерений

- Относительная точность



- Абсолютная точность

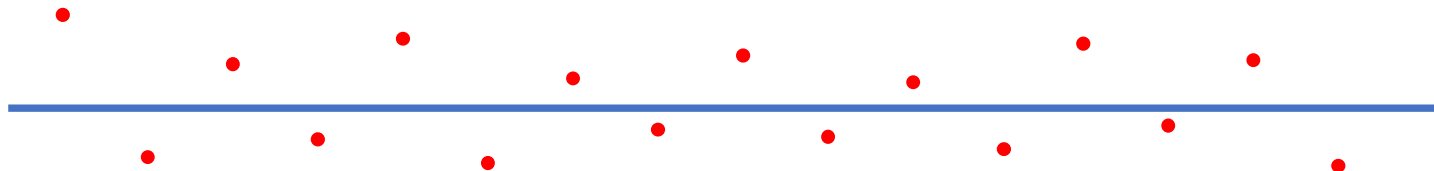


Погрешность измерений

- **Абсолютная точность** – сумма погрешностей всех составляющих сканера – IMU, ГНСС, сканер, одометр, калибровки...

Шум сканера

Шум является функцией как конструкции сканера, так и погрешности дальномера



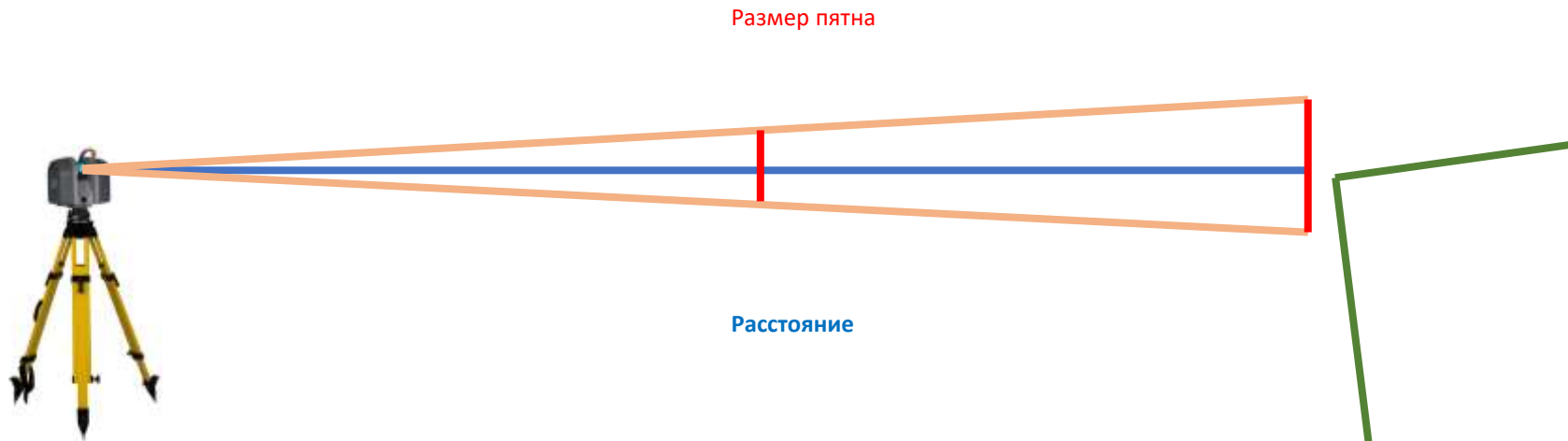
Шум сканера

Уровень шума на разных расстояниях и для поверхностей с разной отражающей способностью

Альбедо	Расстояние (м)				
	5	10	20	40	60
Белый 89%	0.3 мм	0.4 мм	0.5 мм	0.6 мм	1.0 мм
Серый 21%	0.4 мм	0.5 мм	0.6 мм	0.8 мм	2.0 мм
Чёрный 8%	0.5 мм	0.6 мм	0.7 мм	2.5 мм	5.0 мм

Диаметр пятна лазера

beam divergence



Диаметр пятна лазера

Laser Beam Divergence

Laser Beam Footprint (Gaussian Beam Definition)

- 6) Accuracy is the degree of conformity of a measured quantity to its actual (true) value.
- 7) Precision, also called reproducibility or repeatability, is the degree to which further measurements show the same result.

0.35 mrad ¹⁰⁾

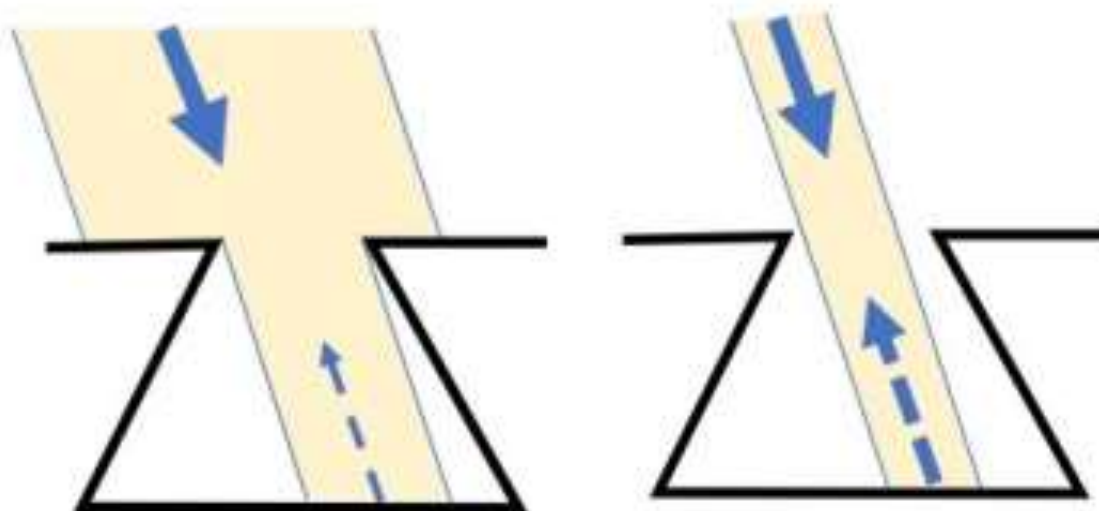
35 mm @ 100 m, 175 mm @ 500 m, 350 mm @ 1000 m

8) One sigma @ 150 m range under *RIEGL* test conditions.

9) User selectable.

10) Measured at the $1/e^2$ points. 0.35 mrad corresponds to an increase of 35 mm of beam diameter per 100 m distance.

Диаметр пятна лазера



Диаметр пятна лазера

Лидар	Диаметр пятна	Размер пятна в надире	Размер под углом 45°
Livox Avia	4.8 x 0.5 мрад	~50x5 см на 100 м	~74x8 см
Hesai XT16	3.0 мрад	~30 см на 100 м	~43 см
Riegl MiniVUX	0.8 мрад	~16 см на 100 м	~23 см
Riegl VUX 1HA	0.5 мрад	~5 см на 100 м	~7 см
CHCNAV LT	0.5 мрад	~5 см на 100 м	~7 см

Решения СНСNAV

■ AlphaAir 450



■ AlphaAir 10



■ AlphaAir 15



■ AlphaUni 10



■ AlphaUni 20



■ RtkSlam10



Технологические особенности

Высокоточная калибровка



Технологические особенности

Калибровка несоосности



Технологические особенности

Тестирование в различных условиях



Трудозатраты



Съёмка 10%

- Планирование
- Сканирование
- Фотографирование
- Привязка к СК
- Проверка



Облако точек 10%

- *Обработка траектории*
- Сшивка облаков
- Раскрашивание облаков
- Привязка к СК
- Чистка
- Сегментирование

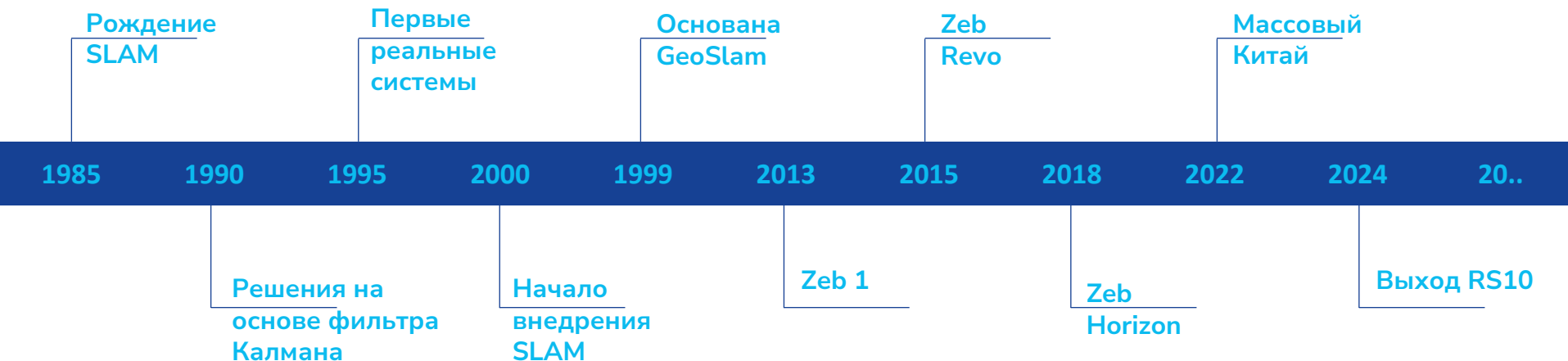


Результат 80%

- Измерения
- Извлечение
- Моделирование
- ГИС
- ...

SLAM

История SLAM

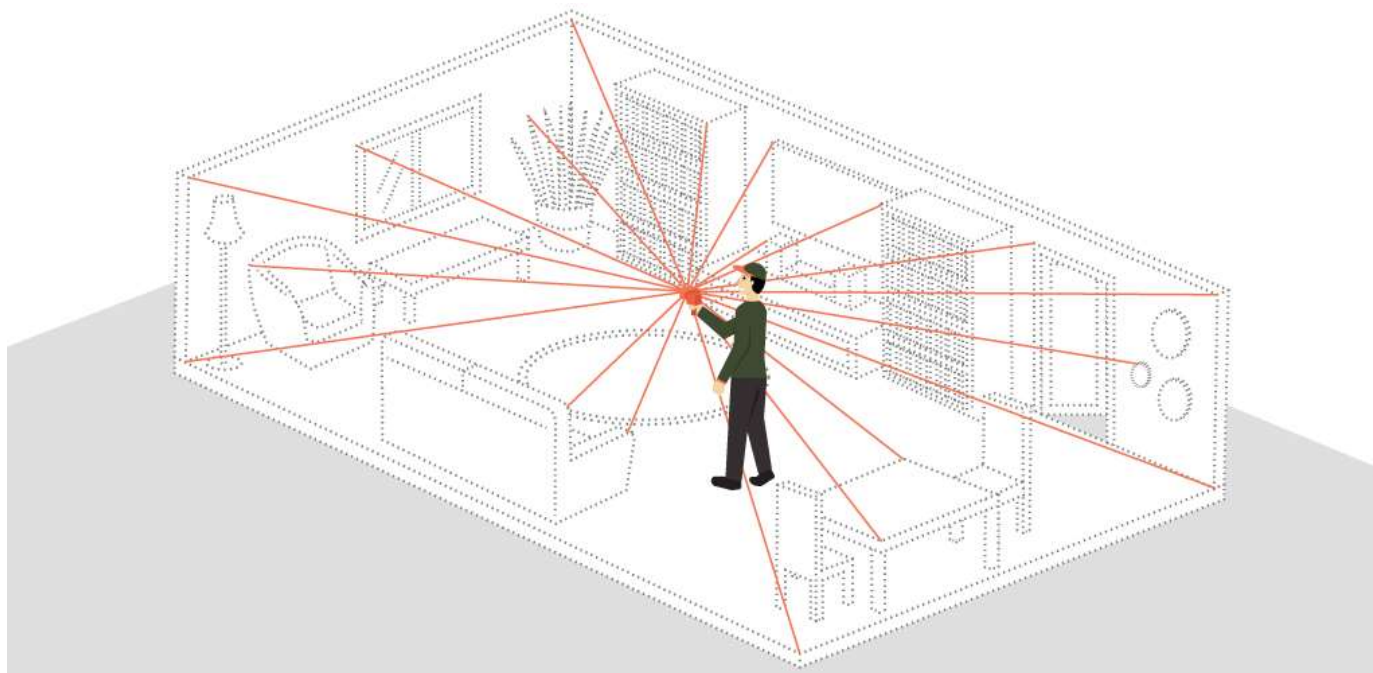


Технология SLAM

- SLAM – Simultaneous localization and mapping – технология получения траектории движения в процессе движения
- Используется набор датчиков, например, IMU+лидары, IMU+камеры
- Есть много алгоритмов SLAM, каждый производитель разрабатывает свою реализацию алгоритма
- Проблема «курица-яйцо»
- Localization – определение местоположения
- Mapping – построение карты

Технология SLAM

С использованием лидаров



Технология SLAM

Виды SLAM сканирования

■ Обычный SLAM (Pure SLAM)

Работа в закрытых помещениях

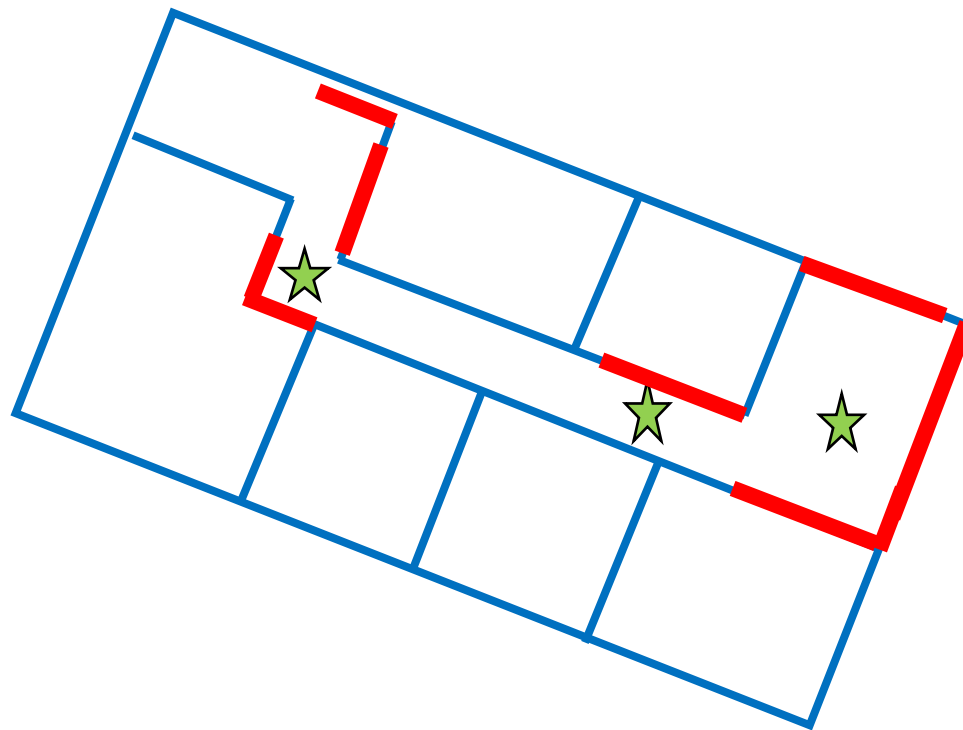
■ RTK SLAM

Получение облака точек в реальном времени. С привязкой к СК

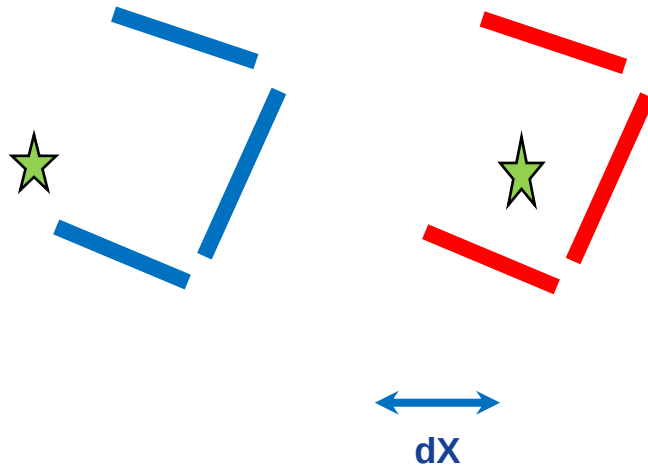
■ PPK SLAM

Улучшение качества выходных данных, большие объекты, контрольные точки, изменение СК, объединение нескольких проектов

Технология SLAM

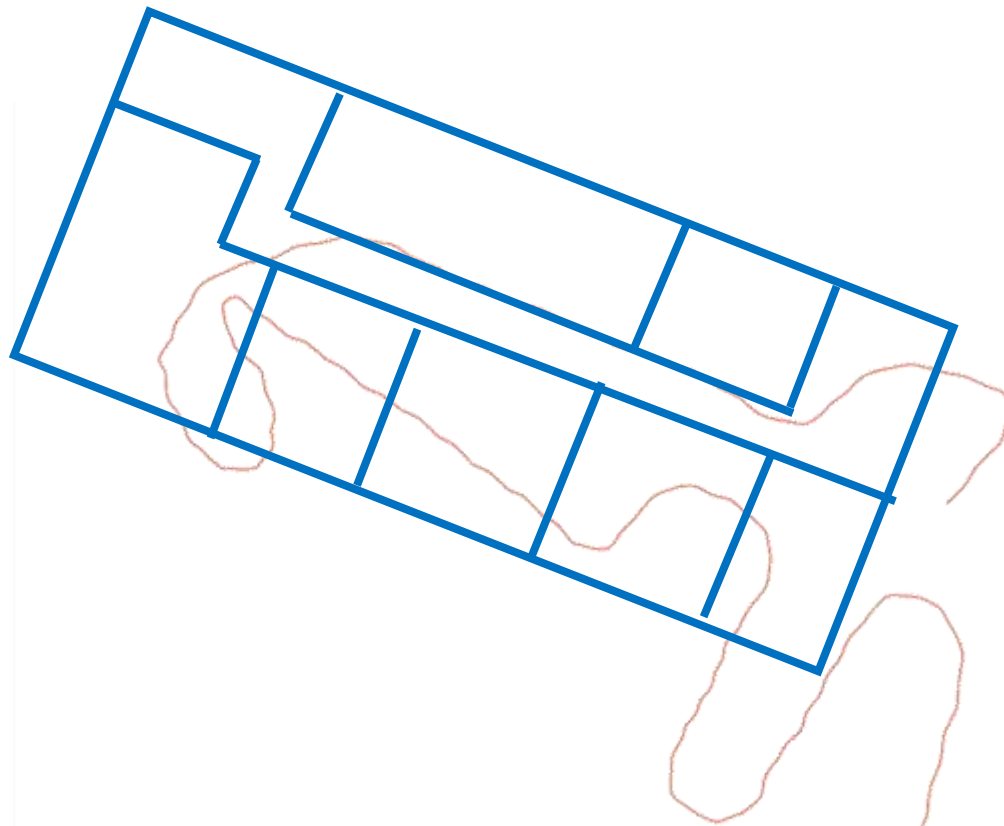


Технология SLAM



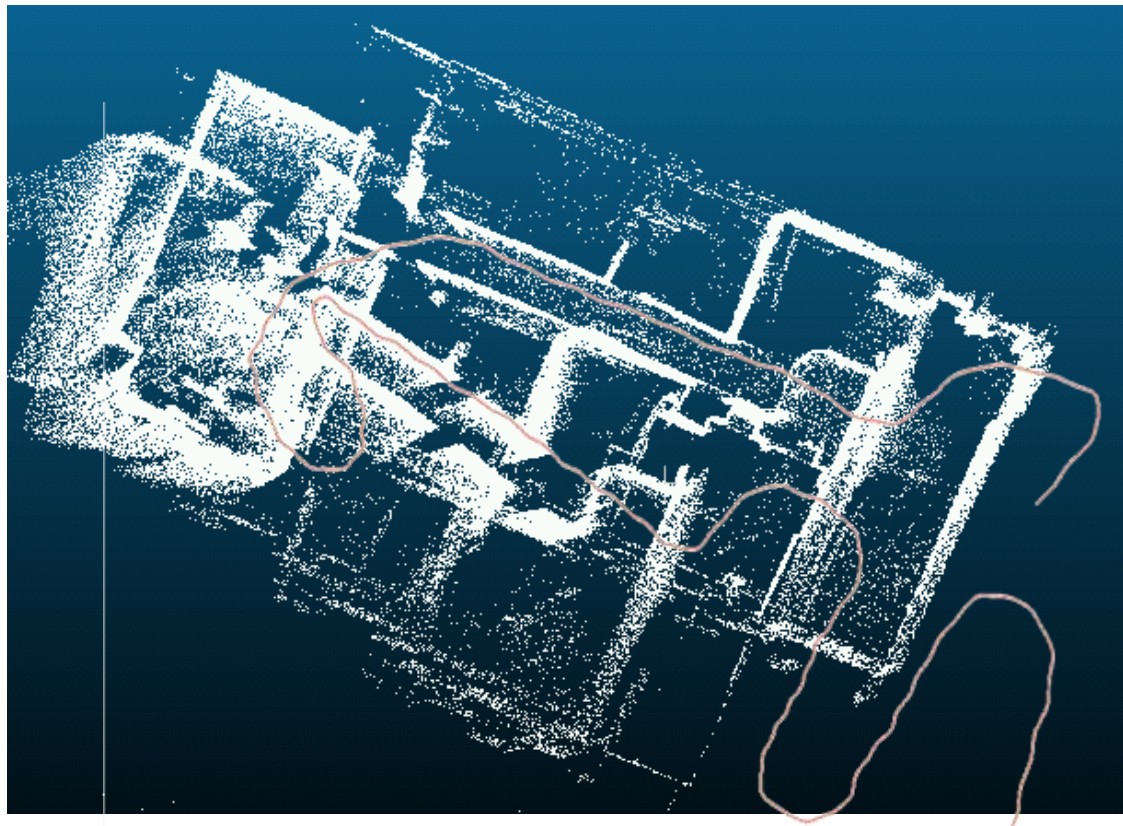
Технология SLAM

Только по IMU



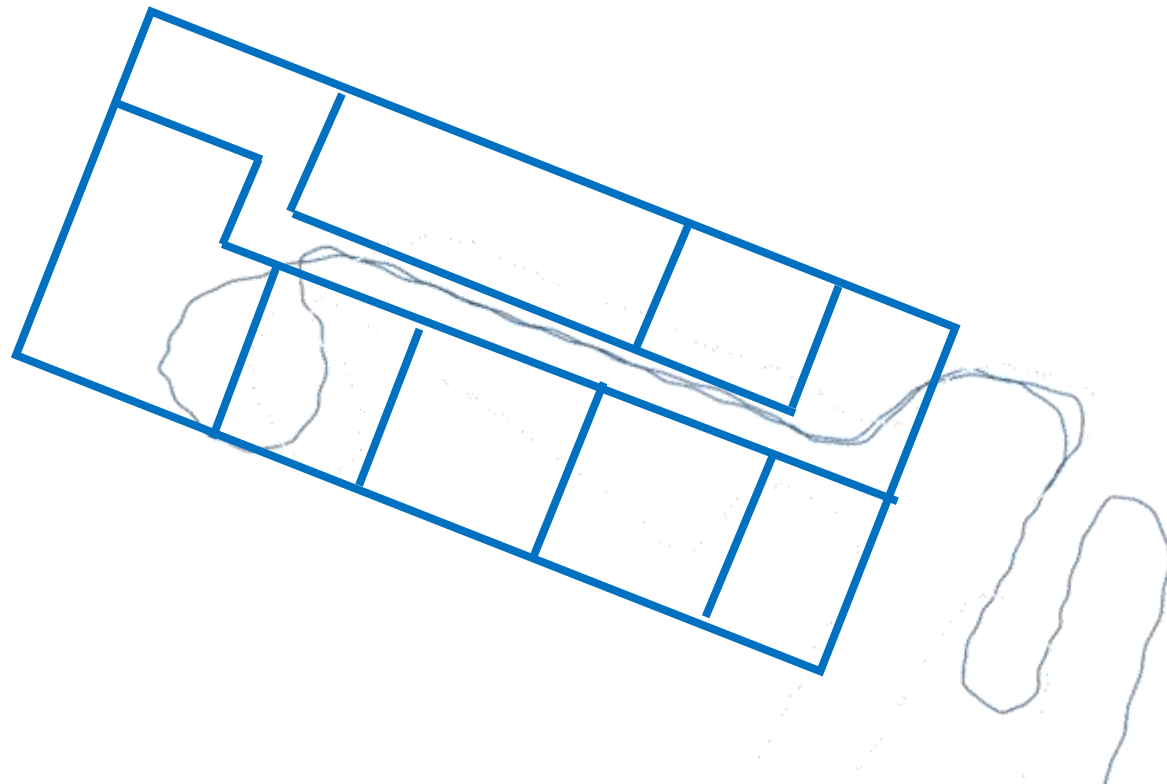
Технология SLAM

Только по IMU



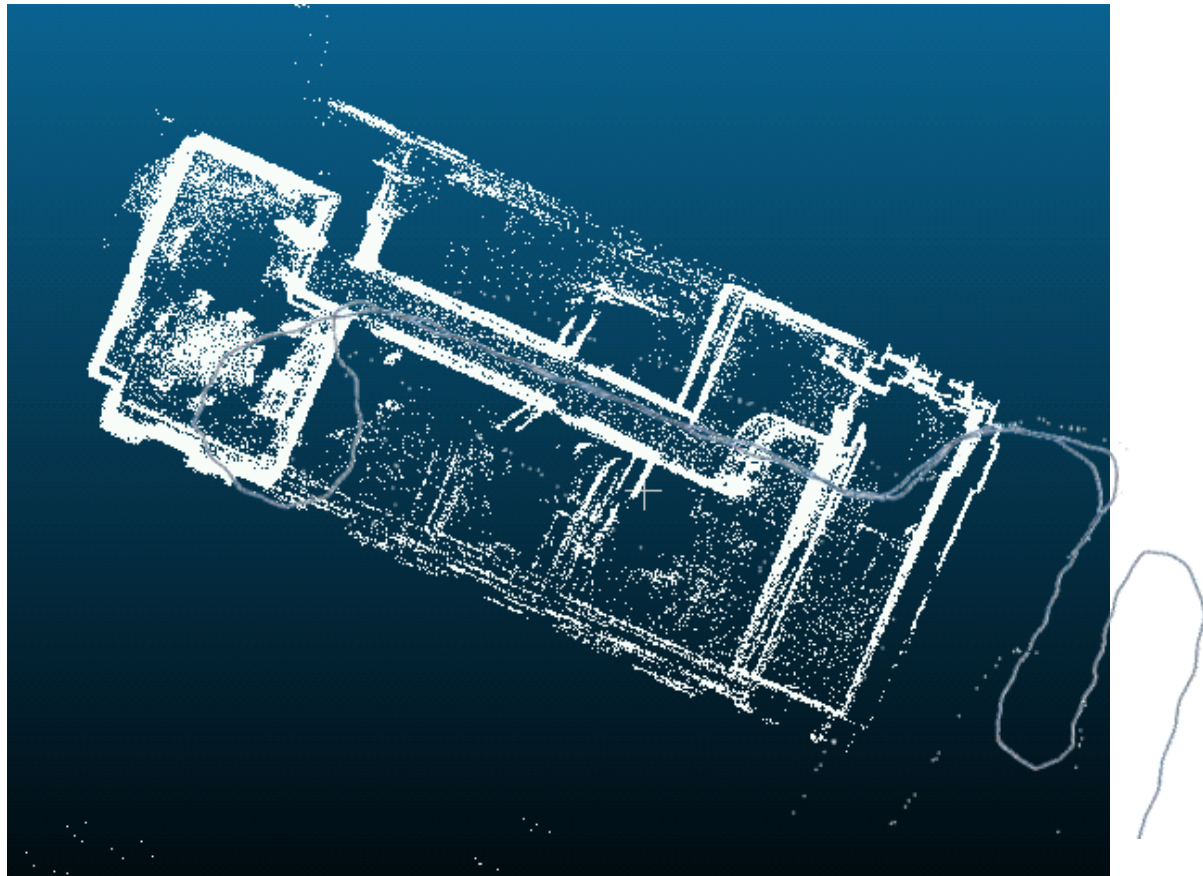
Технология SLAM

Обычный SLAM



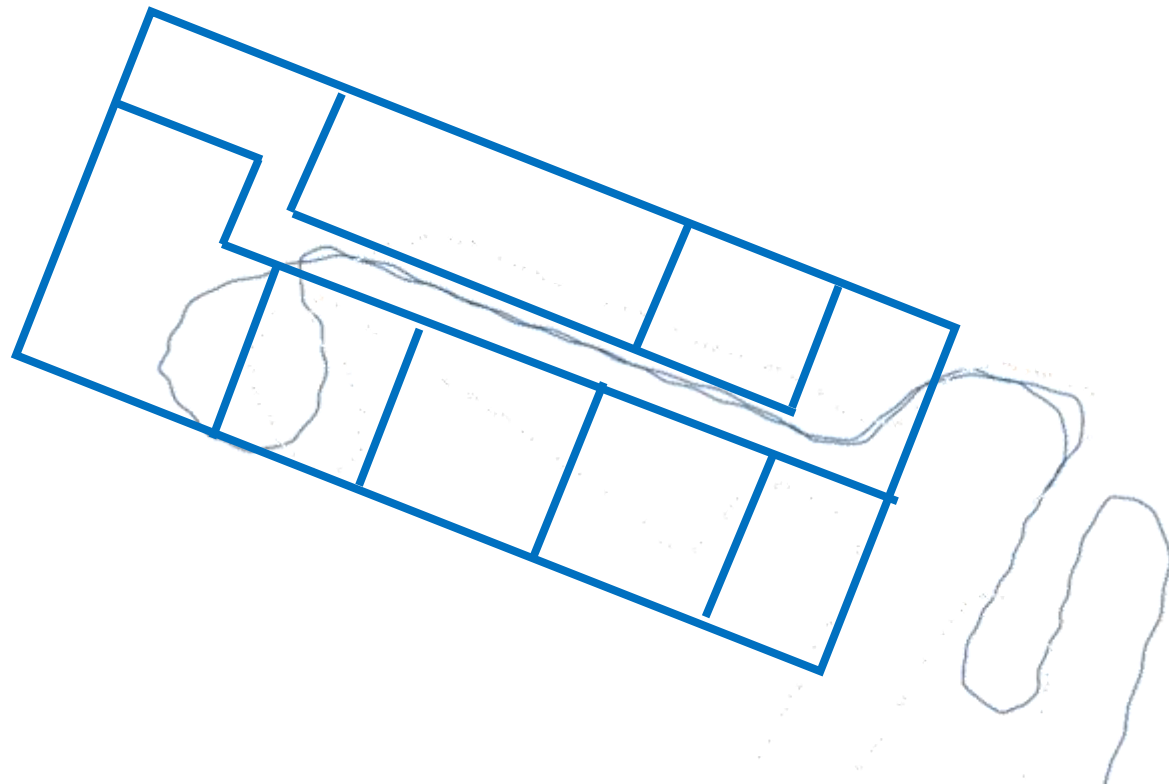
Технология SLAM

Обычный SLAM



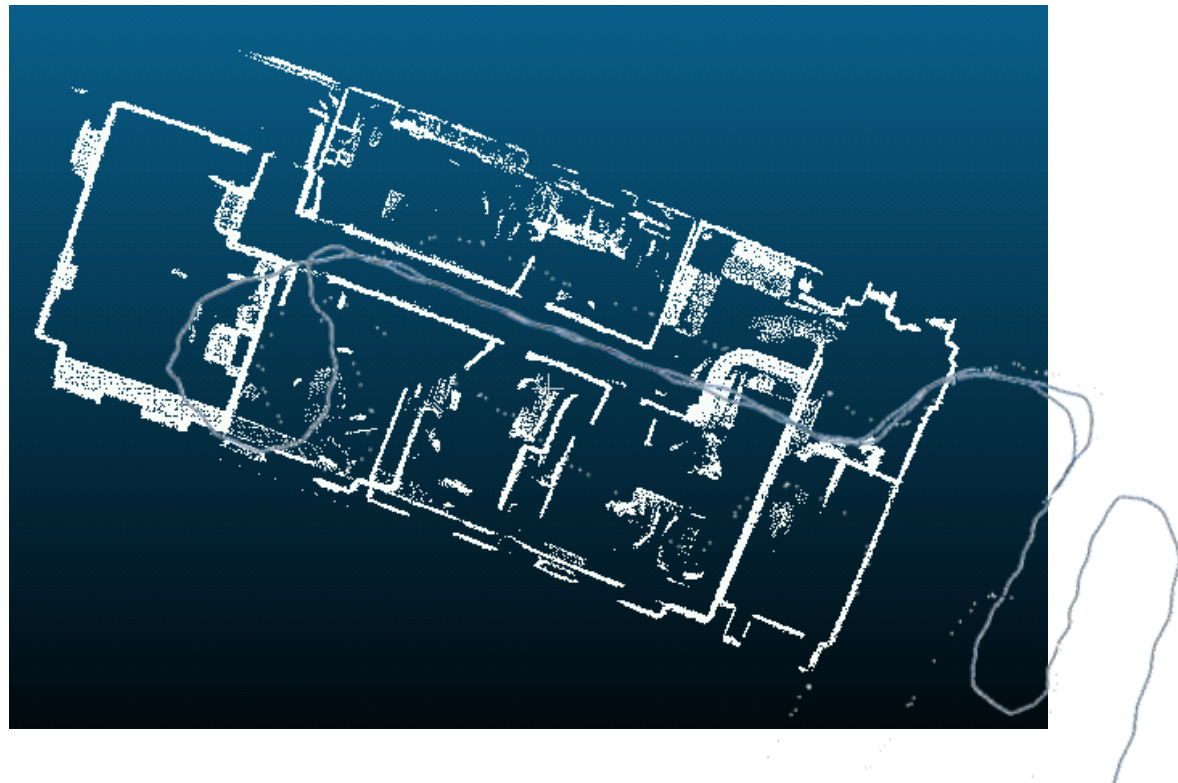
Технология SLAM

Хороший SLAM



Технология SLAM

Хороший SLAM



Погрешности SLAM

Наложения

- повторяющиеся паттерны
- длинные коридоры
- узкие места



Погрешности SLAM

Потери отслеживания

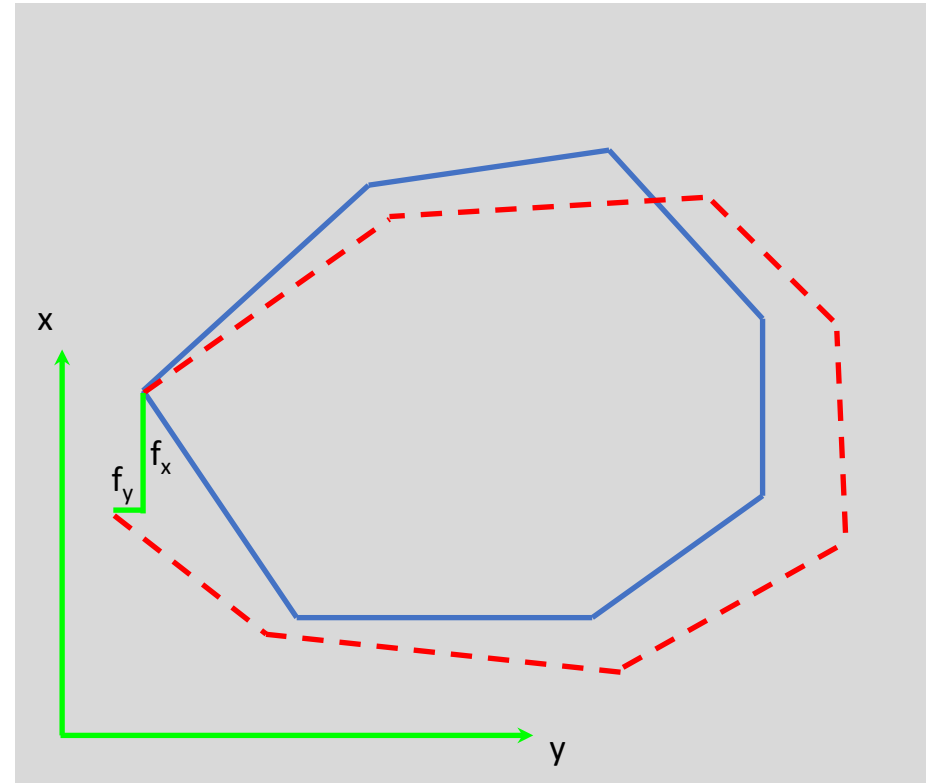
- «гладкие» поверхности
- зеркальные поверхности
- объекты без особенностей



Погрешности SLAM

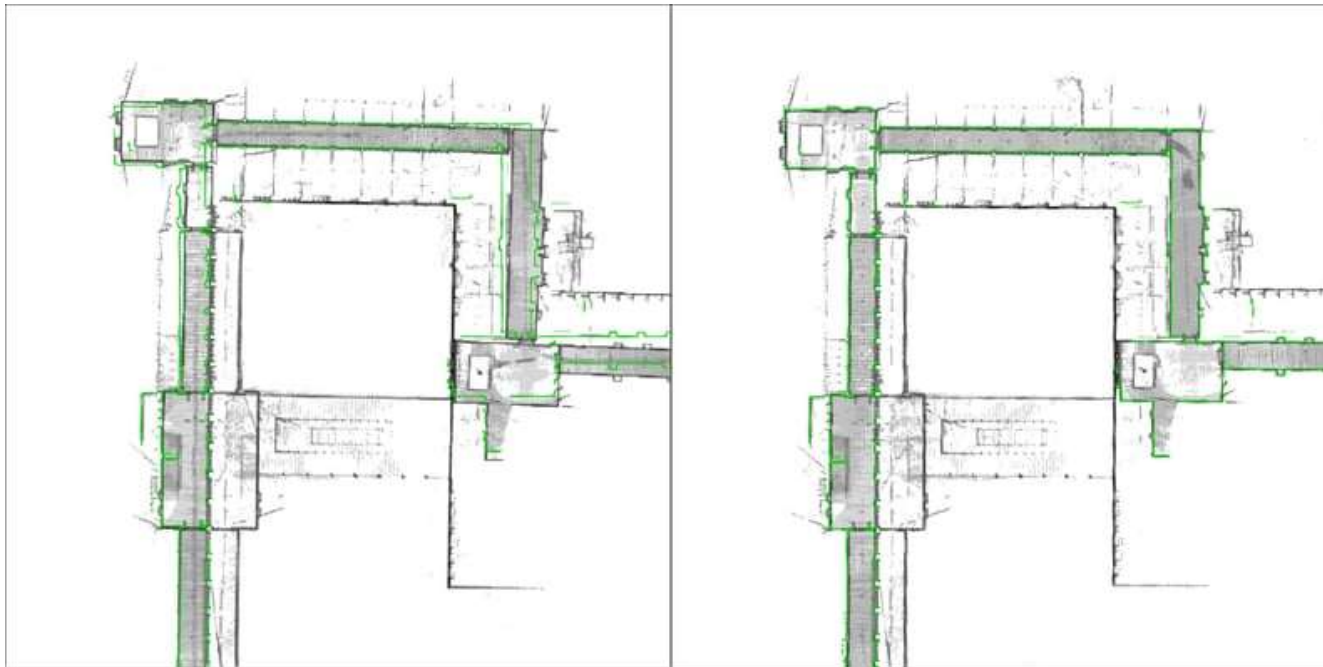
Невязки

- замыкание полигонов
- контрольные точки



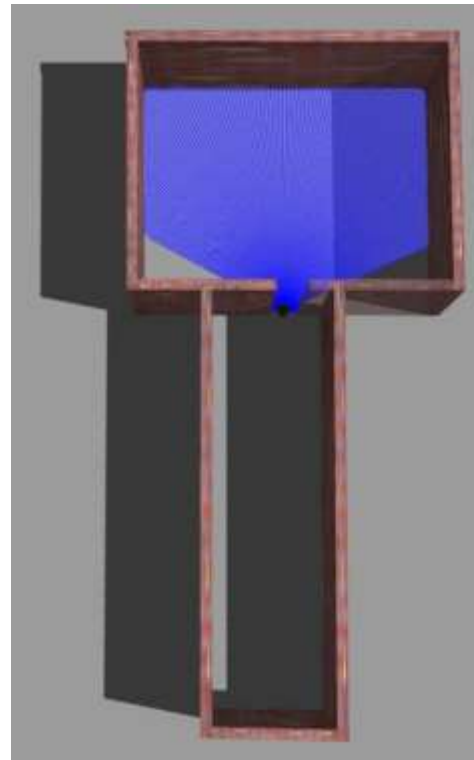
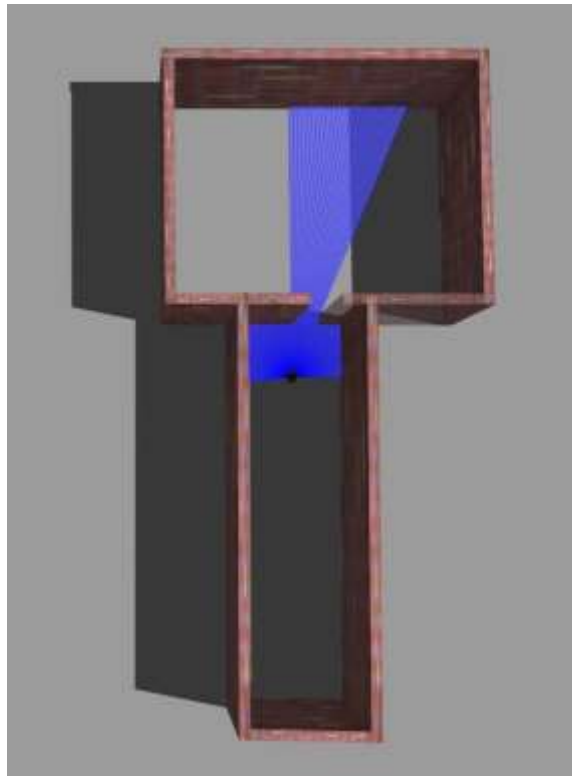
Погрешности SLAM

Невязки



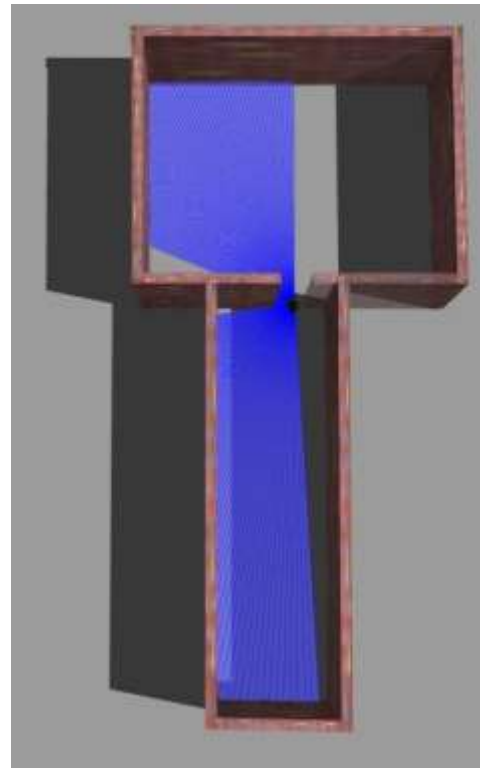
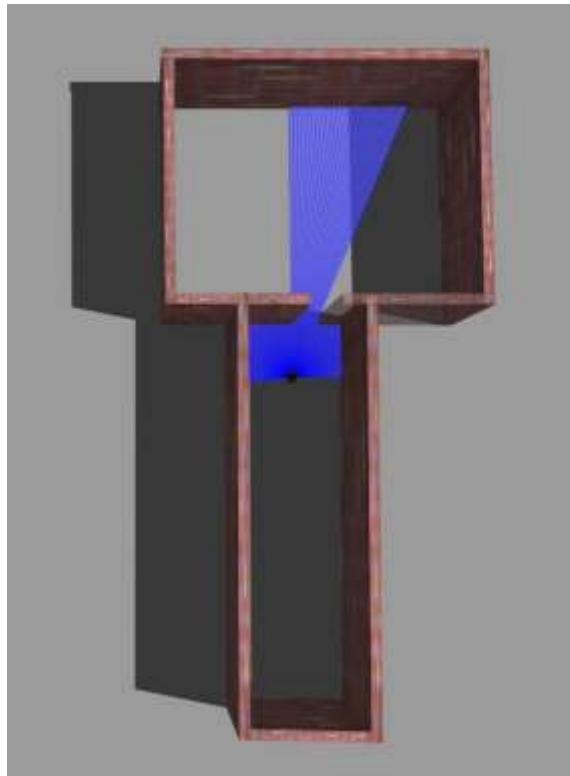
Погрешности SLAM

Невязки



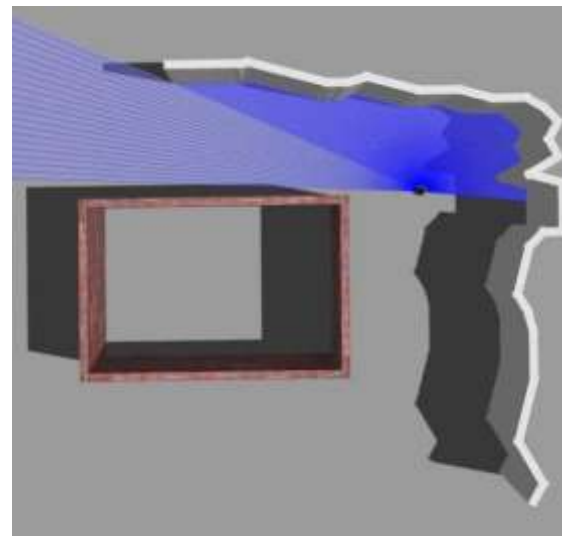
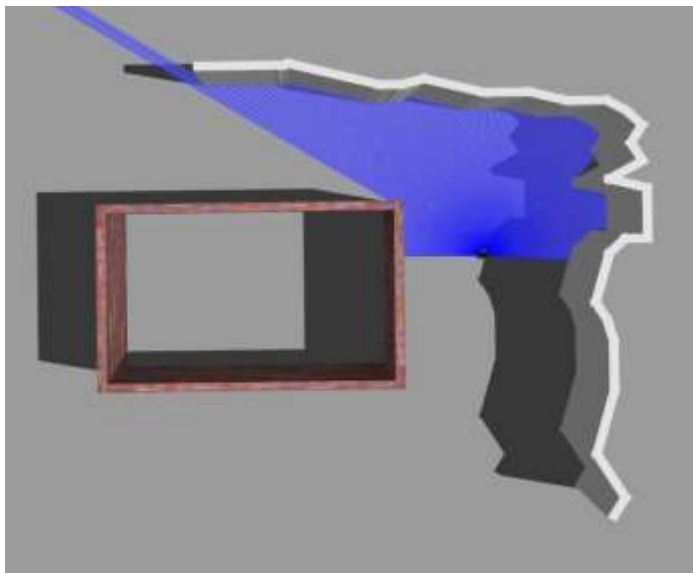
Погрешности SLAM

Невязки



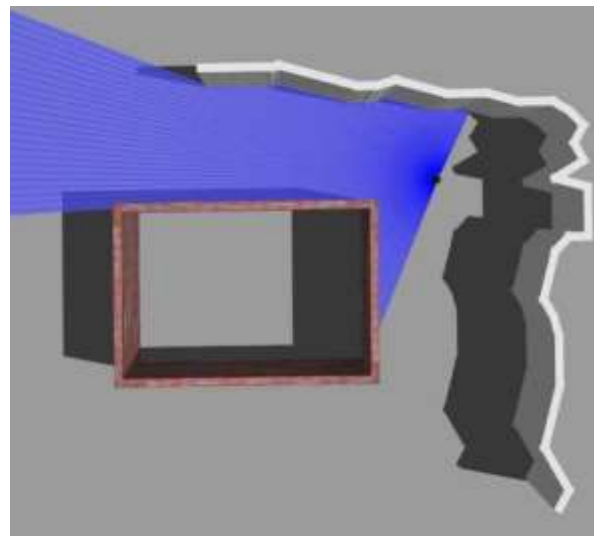
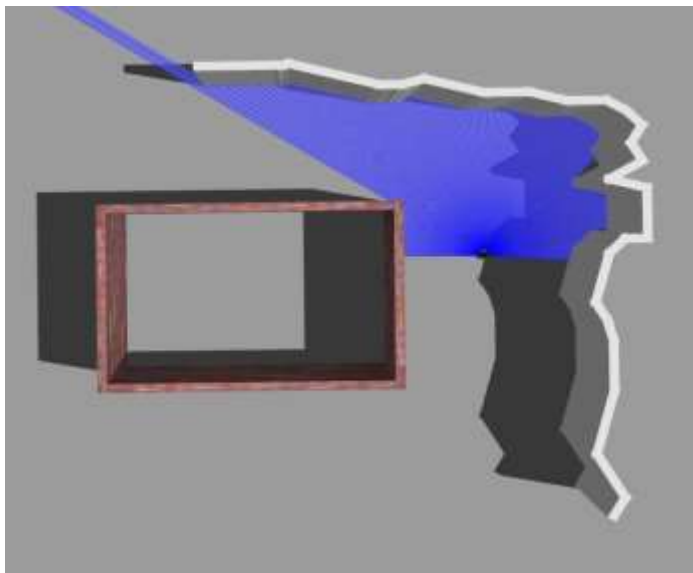
Погрешности SLAM

Невязки



Погрешности SLAM

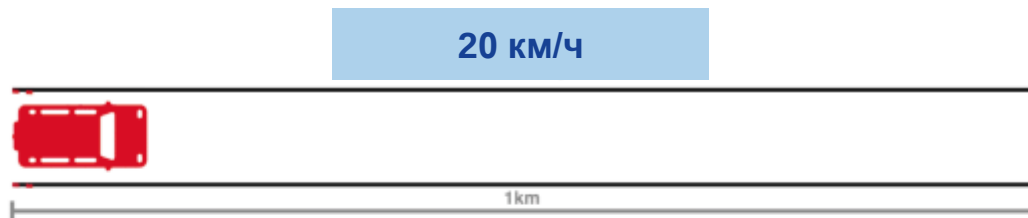
Невязки



Погрешности SLAM

«Уход» траектории

- контрольные точки
- чем больше скорость, тем чаще нужны контрольные точки



С опознаками и без

Погрешности SLAM

Динамические объекты

- люди
- деревья в ветренную погоду



Где применять SLAM?

Для каждой из задач есть оптимальное решение. В остальных случаях нужно понимать ограничения технологий



SLAM. Где применение обосновано

■ Съёмка внутри помещений

Быстро, но не всегда точно

■ Топографическая съёмка

Быстро и детально

■ Подеревная съёмка

Быстро и детально, нет сложностей с ГНСС

■ Инвентаризация

Быстро и детально, нет сложностей с ГНСС

■ Подсчёт объемов

Быстро, но могут быть слепые зоны

■ Кадастр

Быстро, но не видно крыш

SLAM. Где применение НЕ обосновано

■ Съёмка внутри помещений

Когда требуется мм погрешности

■ Съёмка для 3Д моделирования

Шумно, потеря деталей

■ Сканирование с воздуха

Есть более оптимальные решения
Большая масса
Зависимость от поверхности

■ Мобильное сканирование

Очень низкая скорость для качественного результата

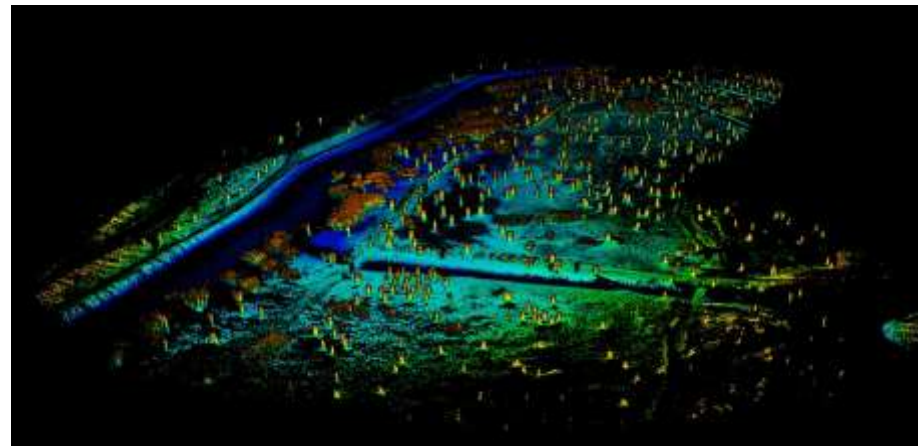
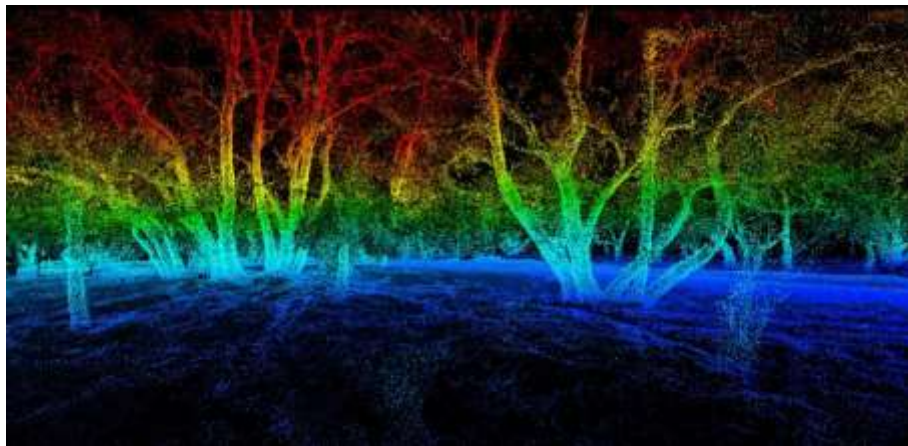
■ Фасадная съёмка

Шумно, потеря деталей

■ Сканирование дорог

Есть более оптимальные решения
Влияние многих факторов,
приводящих к некачественному
результату

SLAM. Где применение обосновано



ВЛС. Где применение обосновано

■ Открытые пространства

Быстро vs детальность

■ Топографическая съёмка

Быстро и детально. Требуется досъемка с земли

■ Лесотаксация

Для автоматических алгоритмов требуется большая плотность и хорошее качество облака

■ Инвентаризация

Для объектов, видимых с воздуха

■ Подсчёт объемов

Быстро и просто

■ Съёмка протяженных объектов

Дороги, ЛЭП

ВЛС. Где применение НЕ обосновано

- Съёмка внутри помещений

Для ВЛС требуются данные ГНСС

- Запретные для полёта зоны

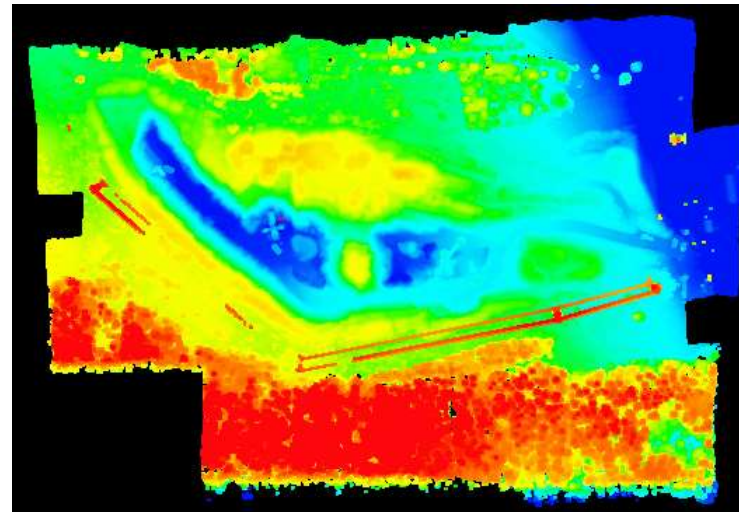
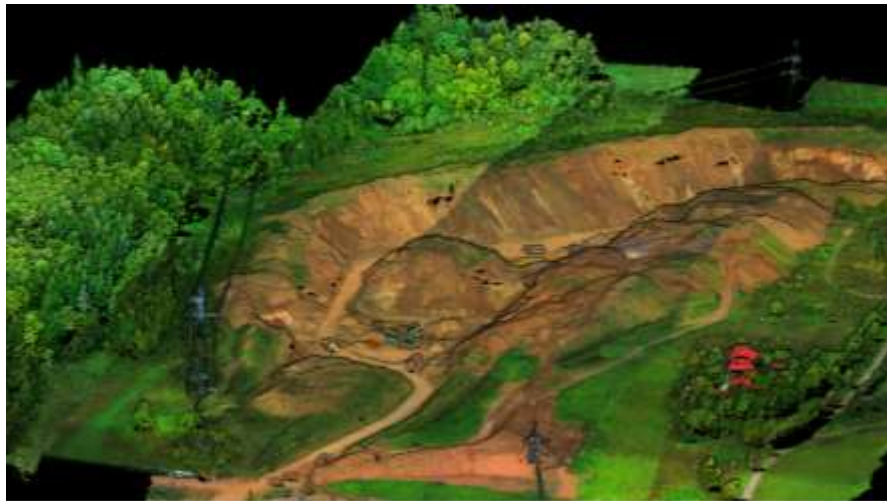
Летать невозможно

- Фасадная съёмка

Стены не видны полностью, низкая
детальность при больших высотах

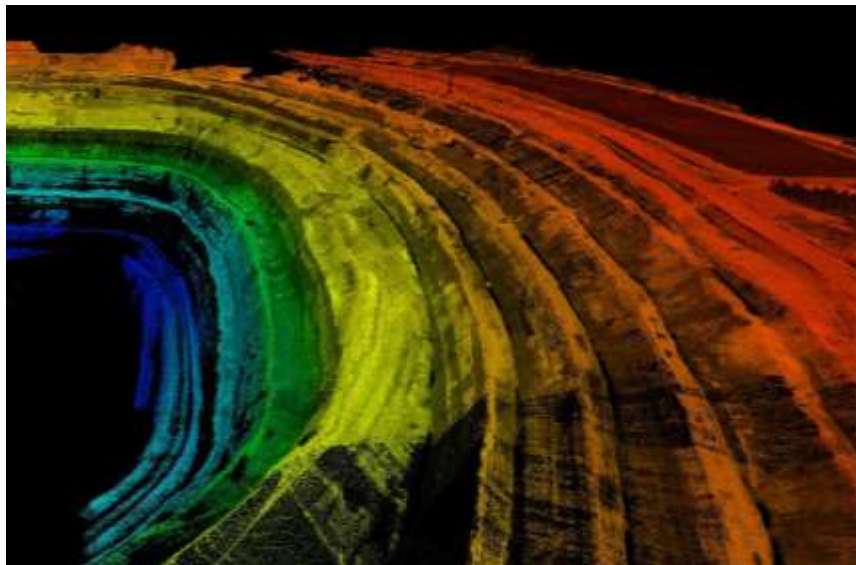
ВЛС. Где применение обосновано

AlphaAir 450, M300. Карьер, 100 м, 10 м/с



ВЛС. Где применение обосновано

AlphaAir 10, M300. Карьер, 150 м, 10 м/с, 300 кГц, 250 скан линий



МЛС. Где применение обосновано

■ Протяженные объекты

Быстро и детально

■ Топографическая съёмка

Там, где можно проехать

■ Подеревная съёмка

Там, где нельзя летать, но можно пройти или проехать

■ Инвентаризация

Для объектов, не видимых с воздуха

■ Подсчёт объемов

Там, где нельзя летать

■ Кадастр

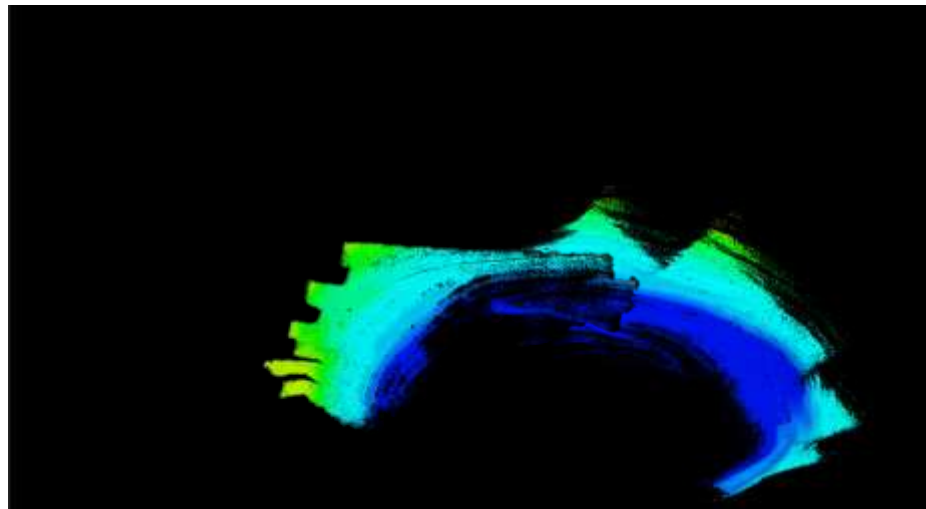
Там, где нельзя летать, но можно пройти или проехать

МЛС. Где применение НЕ обосновано

- **Малые по протяженности объекты**
Быстрее выполнить другими методами
- **Плотная городская застройка**
Плохие условия для ГНСС
- **Где не требуется детальность**
Быстрее выполнить другими методами
- **Где невозможно проехать**
Или пройти
- **Где нужна съёмка сверху**
Инспекция крыш, создание ортофотопланов
- **В безопасных местах**
Если есть прямой доступ к объекту, проще снять другими методами

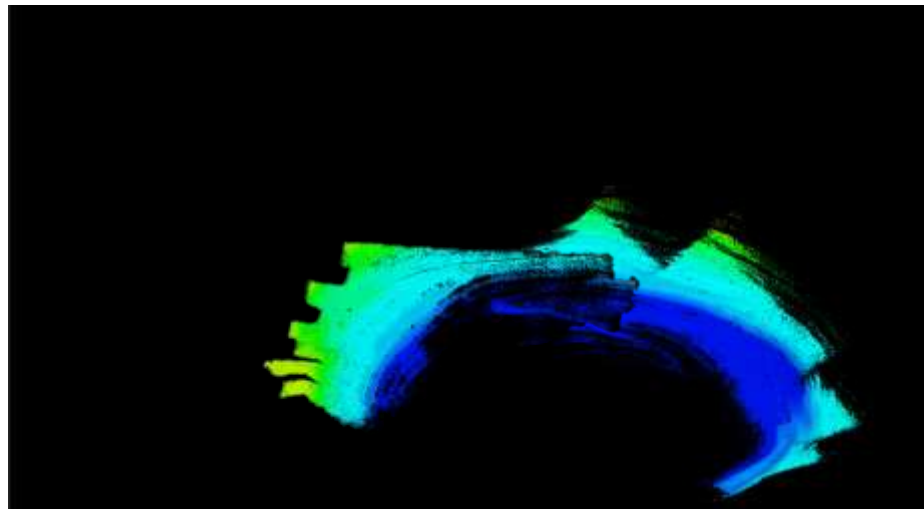
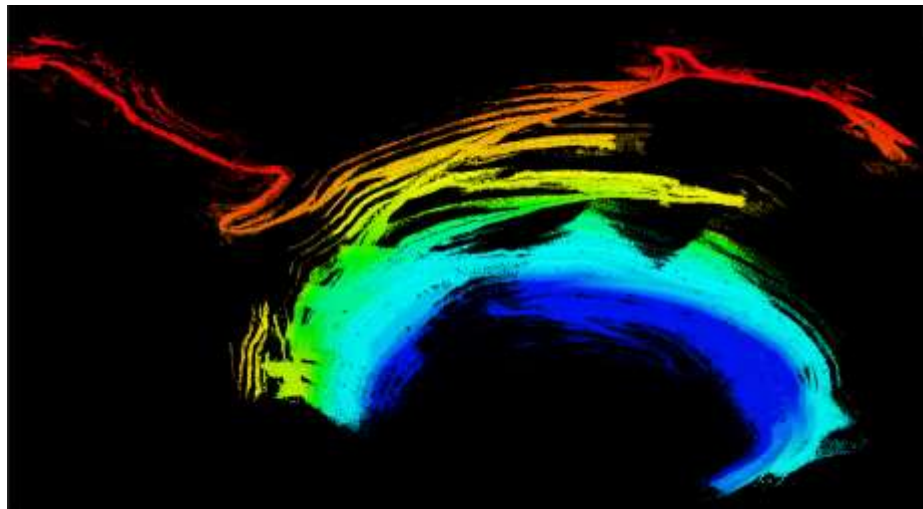
МЛС. Где применение обосновано

AlphaUni 10, авто + М300. Карьер, 150 м, 10 м/с



МЛС. Где применение обосновано

AlphaUni 10, авто + М300. Карьер, 150 м, 10 м/с



**А что у
конкурентов?**

Производители лидаров

■ Livox

КНР



■ Hesai

КНР



■ LeiShen

КНР



■ Velodyne

США



■ Ouster

США



Типичный портрет конкурентов

Чем RS10 отличается от других SLAM?



GoSlam RS100S (ГСИ)

- 1.9 + 2.0 кг
- Hesai XT16
- Внешняя камеры
- Сменная батарея
- Цена **4 350 000 Р**
- **Дополнительно**
 - GPS рюкзак
 - Фотокамера
 - Крепление на автомобиль
 - Переходник для приёмника
 - Телескопическая складная вежа
- **В реестр СИ**
- **от -30°C до +60°C**



GoSlam RS300 (ГСИ)

- 1.9 + 2.0 кг
- Hesai XT32
- Внешняя камеры
- Сменная батарея
- Цена 0 000 000 ₽
- **Дополнительно**
 - GPS рюкзак
 - Фотокамера
 - Крепление на автомобиль
 - Переходник для приёмника
 - Телескопическая складная вежа
- **В реестр СИ**
- **от -30°C до +60°C**



SL1 (EFT)

- 1.9 + 0.95 кг
- Hesai XT16
- Внешняя камеры
- Сменная батарея
- Цена от 4 100 000 ₽
- **Дополнительно**
 - Рюкзак (Для GNSS необходим модуль для подключения GNSS)
 - Крепление на автомобиль, дрон
 - Камера
 - Веха 6 метров
- **В реестр СИ**
- **от -30°C до +60°C**



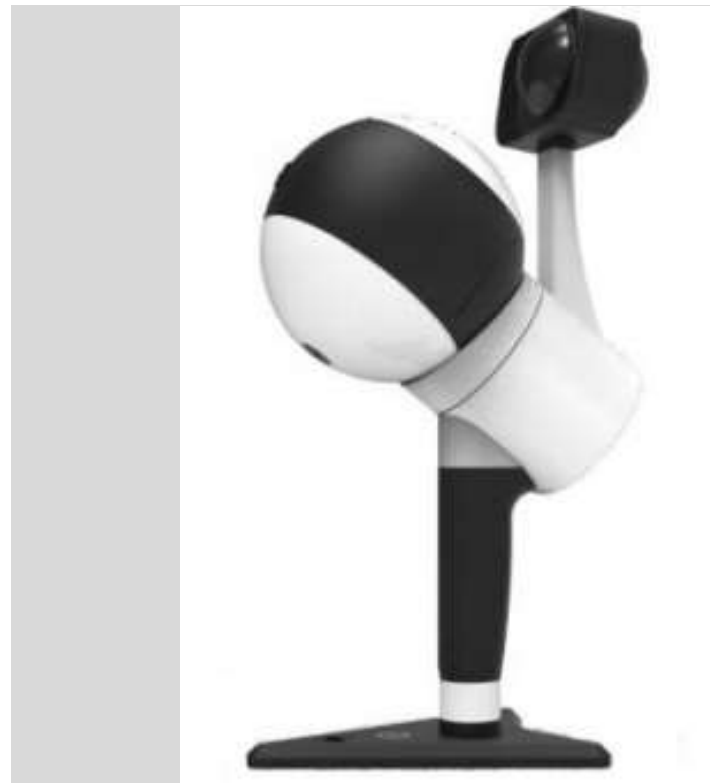
GV LiGrip H120/GH120

- 1.74 + 1.0 кг
- Hesai XT16
- Съемная камера
- Сменная батарея
- Цена от **2 800 000 Р / 4 550 000 Р**
- **Дополнительно**
 - GPS рюкзак
 - Базовая станция LiGrip
 - Лицензия LiDAR360
- **В реестр СИ**
- **от -30°C до +60°C**



GV LiGrip H300

- 1.67 + 1.0 кг
- Hesai XT32
- Встроенная камера
- Сменная батарея
- Цена от **4 200 000 Р**
 - Рюкзак
 - Базовая станция LiGrip
 - Платформа на ТС
 - Платформа на БПЛА
 - Лицензия LiDAR360
- **В реестр СИ**
- **от -30°C до +60°C**



South RobotSLAM

- 1.9 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- Цена 2 700 000 ₽
- Рюкзак 3-в-1 для RobotSLAM
+300 000 ₽
- Панорамная камера Pano Camera
для RobotSLAM
+200 000 ₽
- от -30°C до +65°C



Feima SLAM 2000

- 1.45 кг
- Livox MID-360
- Встроенная камера
- Встроенная батарея
- Дополнительно
 - рюкзак
 - наземный сканер
- от -20°C до +45°C



Навморо S1 (FJD Trion)

- 1.9 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- Цена 2 850 000
- Дополнительно
 - RTK-приемник
 - Рюкзак
- от -30°C до +60°C



Навгопо P1 (FJD)

- 1.15 кг
- Livox MID-360
- Внешняя камера
- Сменная батарея
- Цена 1 950 000 ₽
- Дополнительно
 - RTK-приемник
 - Рюкзак
- от -20°C до +45°C



Topodrone SLAM 100

- 1.588 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- Цена 2 790 000 ₽
- Цена 3 090 000 ₽
- OEM Feima Robotics
- от -10°C до +45°C



Geobox SLAM (Геоприбор)

- 1.59 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- Цена 2 790 000 ₽
- OEM Feima Robotics
- от -10°C до +45°C



Xgrid LixelKity K1

- 1 кг
- Livox MID-360
- Встроенные камеры (4 шт)
- Сменная батарея в ручке
- от -20°C до +50°C
- Время работы 1.5 часа



Xgrid Lixel L2-16

- 1.9 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея в ручке
- от -20°C до +50°C



Xgrid Lixel L2-32

- 1.9 кг
- Hesai XT32
- Встроенные камеры
- Сменная батарея в ручке
- от -20°C до +50°C



Lixel X1 (Satlab)

- 1.9 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- **OEM Xgrid**
- от -20°C до +50°C



AM.TECH MLS10

- 1.7 кг + доп блок
- Hesai XT16
- Сменная камеры
- Батарея – доп блок
- **OEM** Epic
- от -20°C до +50°C



Tersus L1

- 1.9 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры 4 шт
- Сменная батарея
- [Сайт](#)
- Опционально
 - RTK модуль
 - Комплект для БПЛА
 - Комплект рюкзака
- **OEM Feima Robotics**
- от -20°C до +50°C



Geosun GS-100G

- 1.7 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры 3 шт
- Сменная батарея
- Сайт
- Опционально
 - RTK модуль
 - Комплект для БПЛА
 - Комплект рюкзака
- от -20°C до +55°C



GeoSLAM Zeb Horizon

- 1.3 кг
- Hesai XT16
- Внешние камеры
- Сменная батарея
- Сайт
- Опционально
 - RTK модуль
 - Комплект для БПЛА
 - Комплект рюкзака
- **В реестр СИ**



Stonex XH120

- 2 + 1.7 кг
- Ouster?
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- Цена **5 315 000 ₽**



Stonex X120Go

- 1.6 кг
- Hesai XT16
- Встроенные камеры
- Сменная батарея
- Цена **3 150 000 ₽**
- OEM Feima Robotics



Epic EasyScan X10/X30

- 1.2 кг
- Hesai XT16/XT32
- Цена **USD**



А что у нас?

CHCNAV RS10

- 1.9 кг
- 1 x Hesai XT16
- 500 Гб
- 3 встроенные камеры 5 МП
- 50 мин
- сменные батареи
- IMU 200 Гц
- от -20°C до +50°C
- VIS
- Работа сразу в СК



CHCNAV RS10

Высокоточный RTK

Полная интеграция со сканером

VIS камеры

3 HD камеры

SLAM лидар без облака точек

16 или 32 канальный

Встроенный IMU

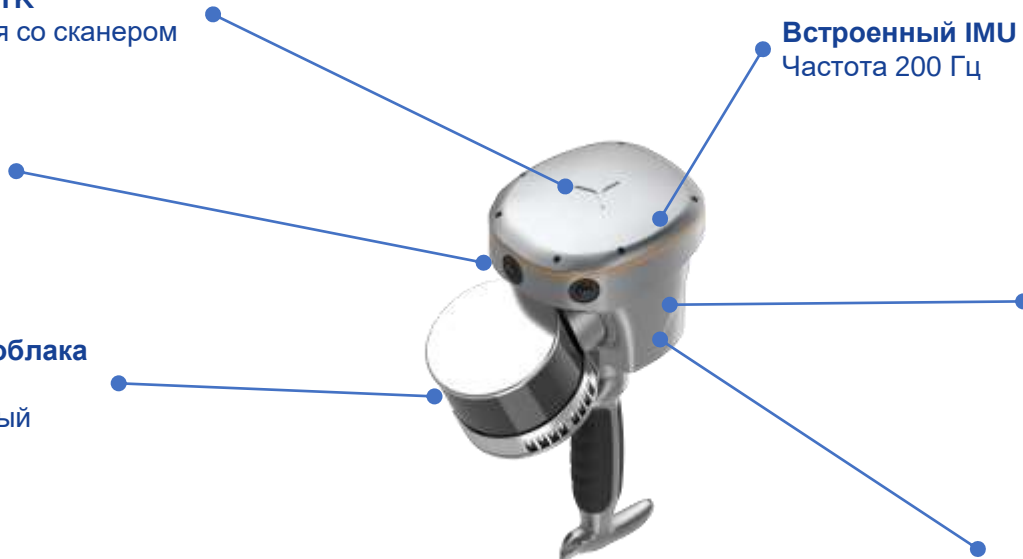
Частота 200 Гц

Защита IP64

Работа в сложных условиях

Память

500 Гб с возможностью заказа версии с 1 Тб



CHCNAV RS10

Высокоточный RTK

Полная интеграция со сканером

VIS камеры

3 HD камеры

SLAM лидар без облака точек

16 или 32 канальный

Встроенный IMU

Частота 200 Гц

Защита IP64

Работа в сложных условиях

Память

500 Гб с возможностью заказа версии с 1 Тб

CHCNAV RS10



Секрет идеального сканирования

01

Для грамотного подбора сканера нужно знать то, где он будет применяться

03

Технологии не стоят на месте. Информация в данной презентации устарела как только вы с ней ознакомились

02

Важно знать и понимать, как на конечный результат влияют параметры сканера

04

Нет идеального сканера, который решал бы все задачи одинаково хорошо
Даже универсальные сканеры имеют свои недостатки