

Livox 旋镜式类固态激光雷达 应用及算法生态

目录

LIVOX

—
公司简介

Livox 技术路径

激光雷达简介-独特扫描模式

Livox 生态

Livox 开源算法模块

Livox 开源资源

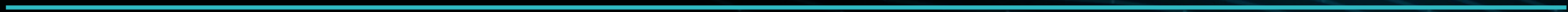
Q&A

01.

LIVOX

—

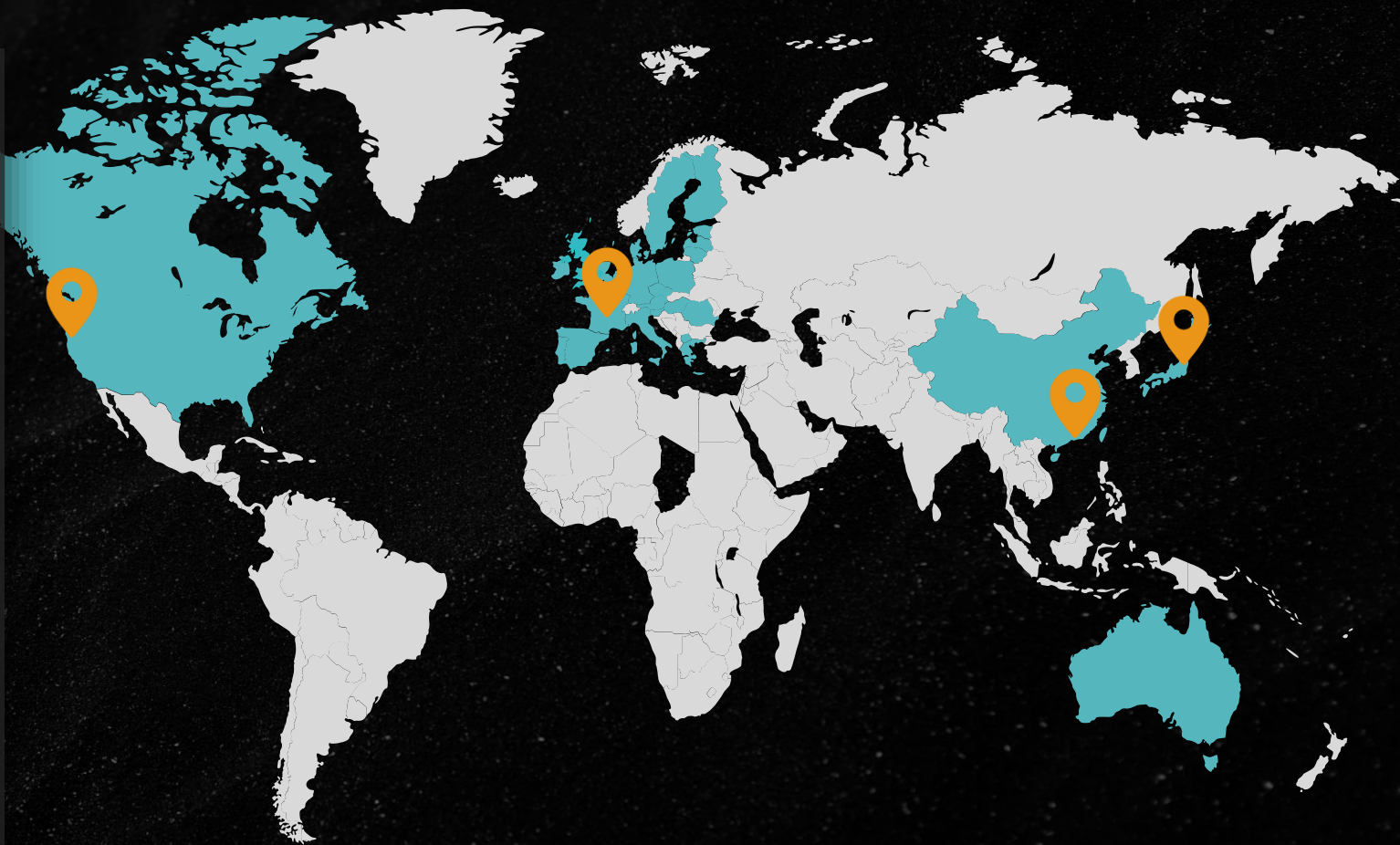
公司简介



Livox: 大疆内部孵化, 致力于高性能激光雷达的规模化应用



- 成立于2016年
- 团队分布于深圳 (总部)、东京、法兰克福、硅谷
- 200+团队, 75%工程师
- 专利数量: 417 (2020年12月)
- 核心市场: 中国, 北美, 日本, 欧洲
- 客户数: 2,000+



致力于高性能激光雷达的大规模量产应用

极致创新 极致成本 极致口碑



02.

LIVOX

—

Livox 选择的**技术路径**综合考虑了
性能、产品成本、可靠性、**可量产性**

激光雷达三大模块的选择，基本定义了激光雷达

激光雷达系统的组成

LiDAR 系统关键 ——
性能、成本、可靠性、
可量产性的权衡

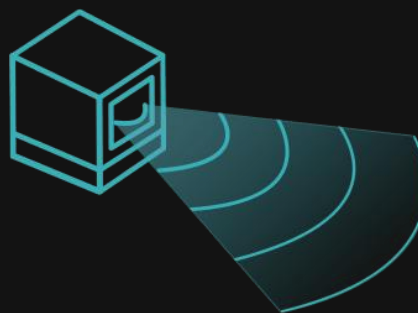
发射模块 (Transmitter)

关键：激光光源的权衡



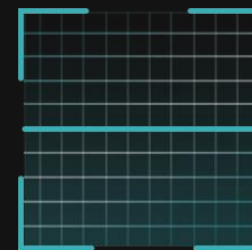
接收模块 (Receiver)

关键：光电传感的权衡



扫描模块 (Scanner)

关键：光束调控器件的权衡

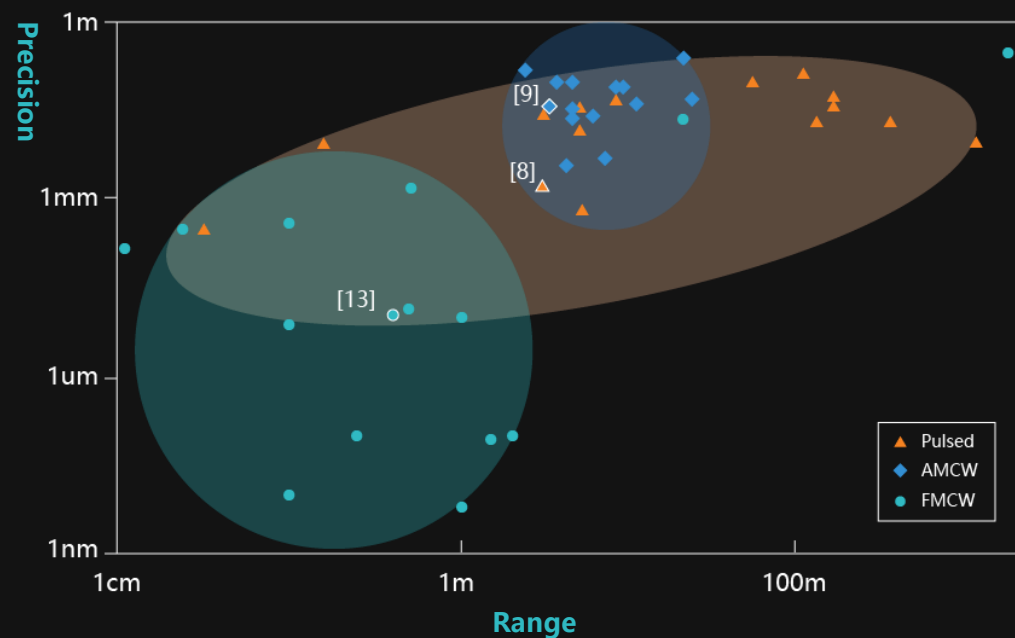


I 发射模块: IToF vs. DToF

	IToF		DToF
	FMCW (调频连续波)	AMCW (调幅连续波)	脉冲式方案
系统复杂度	系统复杂 成本极高	系统简单 易实现成本低	系统简单 成本低
能量	平均能量高		峰值功率高 平均能量低
安规限制	受安规限制严重		受安规限制小
精度	精度高	信噪比低 精度偏低	信噪比高, 精度高 cm级精度
量程	~10m	<100m	数百米

DToF 是自动驾驶主 LiDAR 与远距 LiDAR 的不二选择

核心: 对光的基本特性的调制和利用



1990-2017 激光雷达量程 / 精度对比

[B.Behroozpour, IEEE Commun. Mag., 0163-6804, 2017]

II 发射模块：905 nm vs. 1550 nm

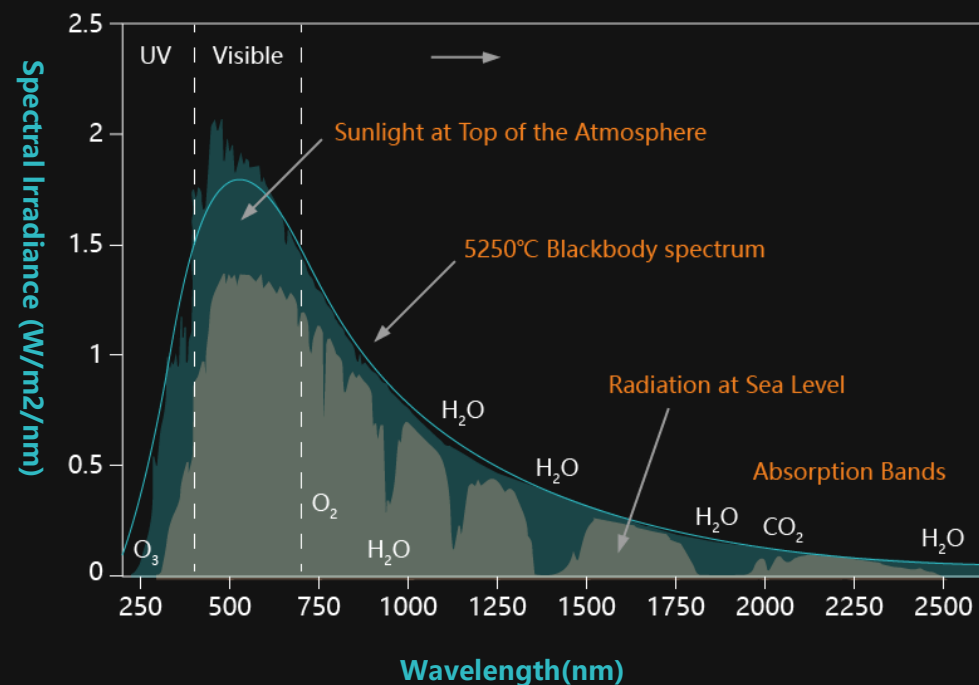
发射 —— 相比 905nm, 1550nm 性能逆天, 但器件成本极高

		905 nm	1550 nm
安规	波长越短, 光子能量越高 对人眼伤害越大, 安规限制越严格	限制大	限制小
传感器	传感器材料决定了光谱响应灵敏度 InGaAs材料价格远高于Si	Si	InGaAs
光源器件	主要考虑成本、体积、光束质量和功率 目前光纤激光器的单价约为数万元	半导体激光器	光纤激光器
日光干扰	地面日光光谱受多个因素影响 影响背景光水平	干扰大	干扰小
大气散射	波长越长, 穿透能力越强	穿透力弱	穿透力强

905 nm 是当下的性价比之选

太阳光谱曲线

Solar Radiation Spectrum



III 接收模块：SPAD vs. APD

SPAD 不适合户外、远距 LiDAR 使用，APD 更符合自动驾驶场景

	SPAD (单光子雪崩二极管)	APD (雪崩光电二极管)
“类比”	相当于单个底部有大洞、特别浅的桶，一次只装一个光子	相当于单个底部有小洞的深桶，一次能装大量光子
灵敏度	限单光子响应，灵敏度极高，极限量程大	灵敏度高，极限量程相对较大
成像输出	仅输出 0/1 信号 (黑白)	动态范围大，输出模拟信号 (灰度)
噪声干扰	动态范围极小，噪声影响严重，户外白天易饱和失效	动态范围大，信噪比高
量子效率	光子探测效率低 (~5%)	光子探测效率高 (~70%)
阵列化工艺	阵列化工艺成熟，已有 MPPC / SiPM 方案	阵列化工艺不成熟
信号处理电路	输出黑白信号，处理电路简单	输出灰度信号，处理电路相对复杂
相关厂商	Ouster / Quanergy 及基于 MEMS / Flash 的多数厂商	Livox / 禾赛 / Velodyne / ASC / Ibeo 等

IV 扫描模块：机械式 vs. 类固态 vs. 纯固态

机械式是过去式，类固态是现在式，纯固态是将来式

		代表厂商	成本	可量产性	可靠性	性能	技术成熟度
机械式		Velodyne / 禾赛 / 速腾 / Ouster	\$\$	差	差	好	成熟
MEMS		Innoviz / 一径 / 禾赛 / 速腾 / Velodyne	\$\$	一般	差	好	一般
旋镜式		Livox	\$	好	一般	好	成熟
OPA		Quanergy / LeddarTech / Lumotive	\$\$\$	差	好	目前：差 未来：好	很不成熟
Flash		LeddarTech / ASC / Sense Photonics	\$	好	好	目前：一般 未来：好	一般

03.

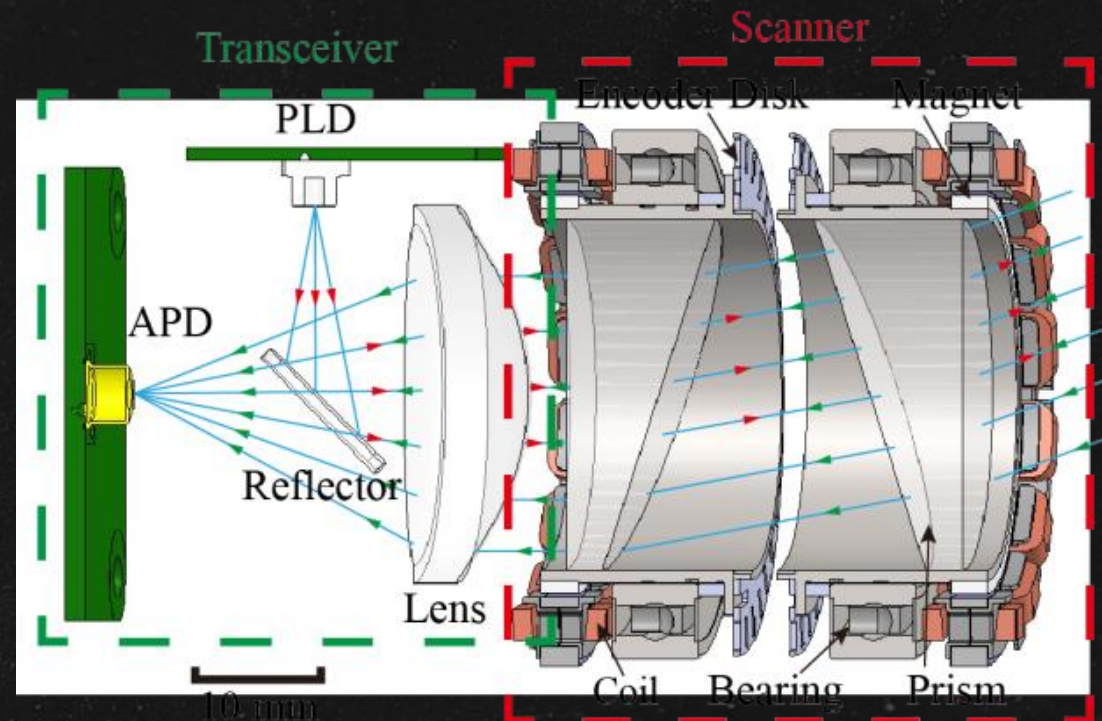
LIVOX

—

激光雷达简介-独特扫描模式

Livox激光雷达简介 独特扫描模式

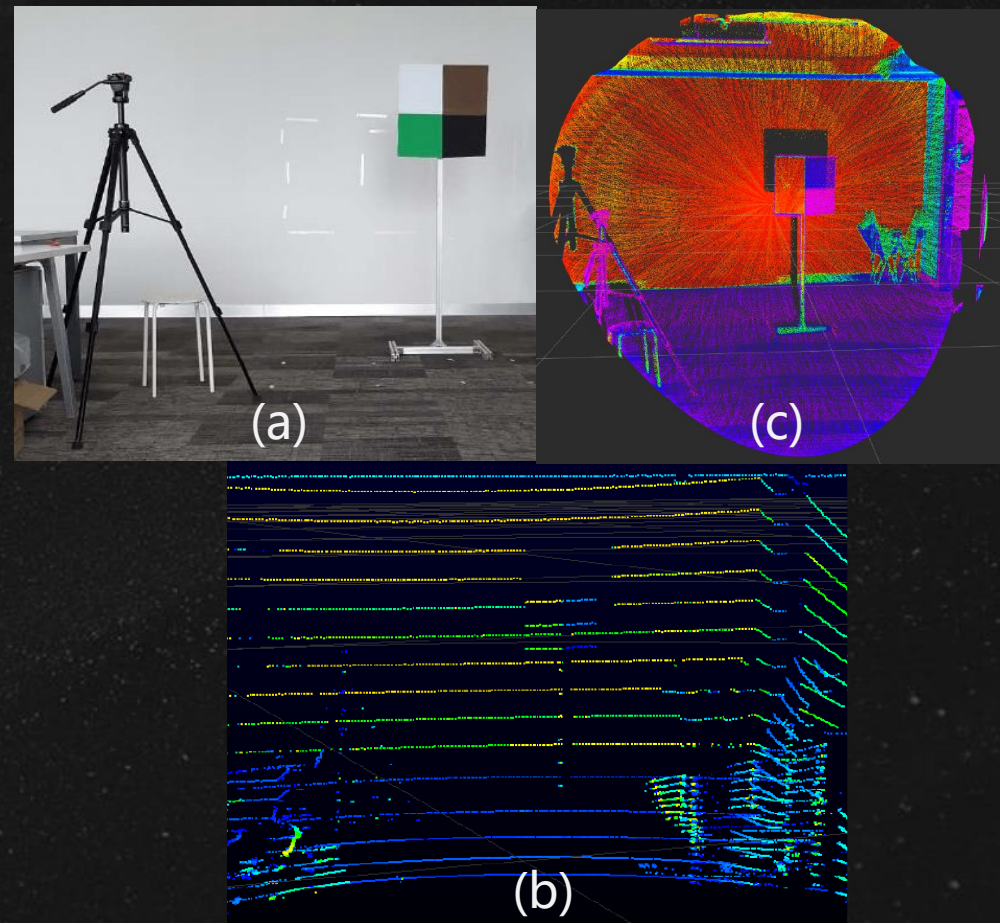
- Livox采用了独特的棱镜扫描方式，使用两个棱镜，让光线从不同的方向发射，也因为这个设计，棱镜雷达不像传统旋转激光雷达一样让收发模块在进行转动，从而避免了类似传统旋转激光雷达的多次校准。
- 如右图所示，当光线穿过一个棱镜时，会发生折射，从而光线方向会发生变化，其中的“Vector”表示棱镜使光线发生偏折方向。
- 图(b)和图(c)表示了棱镜激光雷达扫描模块的工作情况，第一个棱镜使光线偏折“Vector1”，第二个棱镜使光线偏折“Vector2”，最终合成的向量则是光线最终发射的方向。
- 这里的棱镜是固定在电机上面的，随着电机转速的不同，会扫描出各种各样的图案。



Livox激光雷达简介 独特扫描模式

- (a) 同一个场景，不同扫描模式下的点云效果。
- (b) 360度多线机械雷达的1s扫描点
- (c) Livox扫描pattern在1s积分下的扫描效果

可以看出，随着时间的增加，机械雷达的点云没有增加额外的信息量，密度恒定不变。而Livox的扫描方式能够随着时间的增加获取更细致的空间三维信息，**这对于移动机器人三维感知是非常重要的特性**



Livox激光雷达简介 独特扫描模式

- 右图是Mid-40棱镜式LiDAR的真实结构，可以看出其结构紧凑，体积也很小，但通光孔径却很大，经过精心设计，距离也会测的较远。
- TELE系列甚至可以探测500米的目标

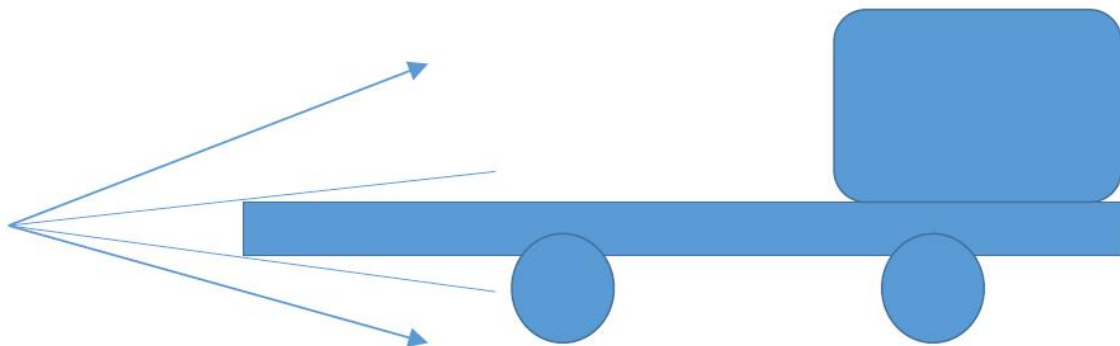
参考：

1. Liu Z, Zhang F, Hong X. Low-cost retina-like robotic lidars based on incommensurable scanning^[1]. preprint arXiv:2006.11034, 2020.
2. 文章 <https://zhuanlan.zhihu.com/p/190020569> 有详细说明



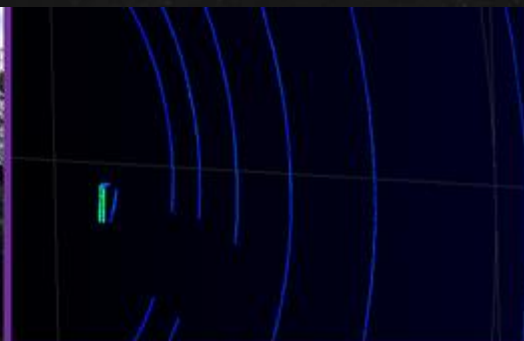
Livox激光雷达简介 独特扫描模式

- 128线的机械式LiDAR垂直角分辨率约 0.2° ，在该情景下也可能不足
 - 例如厚度为0.2m的平板卡车/拖车
 - 最坏的情况：拖车的尾部漏检
 - 在 $d = 0.1\text{m}/\tan(0.2^\circ) = 29\text{m}$ 时可能无法检测到

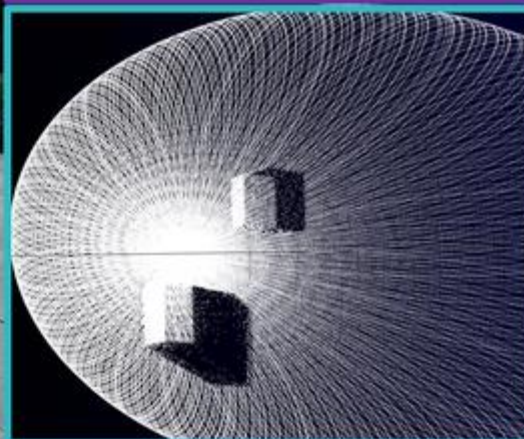


比如，空载的板车有可能成为传统机械式的探测盲区，而非重复的扫描模式能够避免此问题发生。

Livox激光雷达简介 独特扫描模式



传统16线实测点云效果



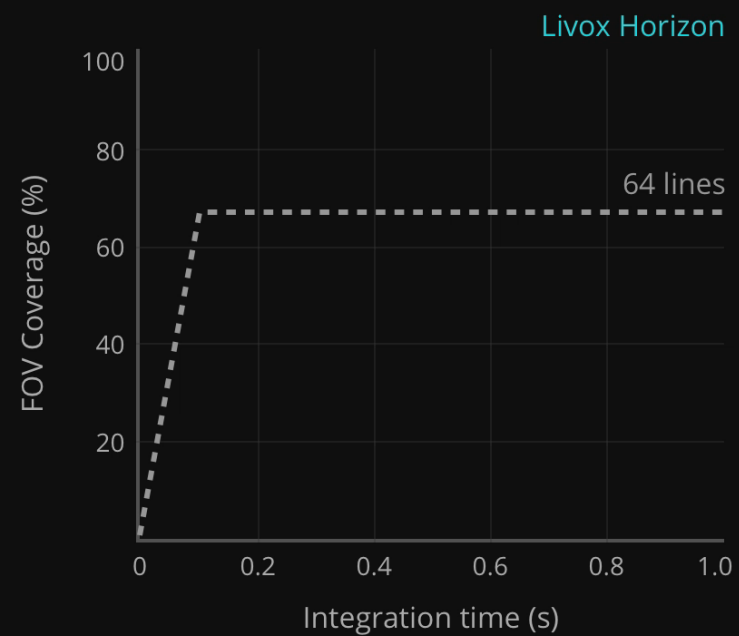
Mid-70 实测点云效果



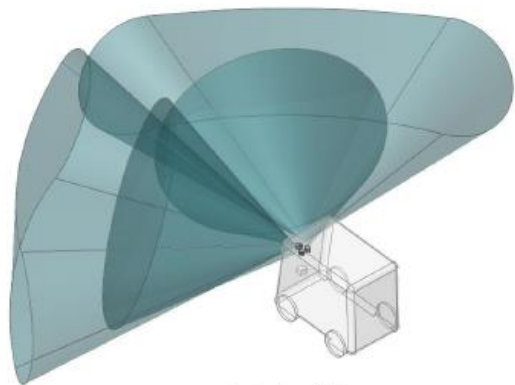
低速物流机器人的道路感知需要更多三维细节

比如，满载的板车有可能成为传统机械式的探测盲区，而非重复的扫描模式能够避免此问题发生。

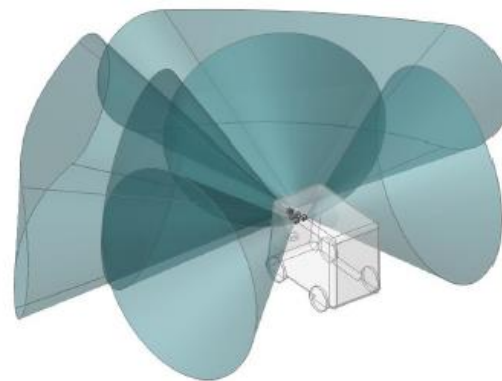
浩界的非重复式扫描点云效果



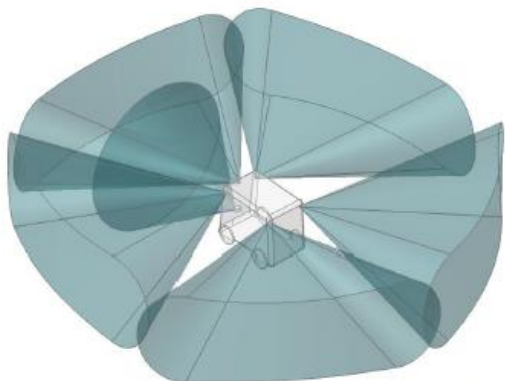
低速自动驾驶，移动机器人感知布局方案



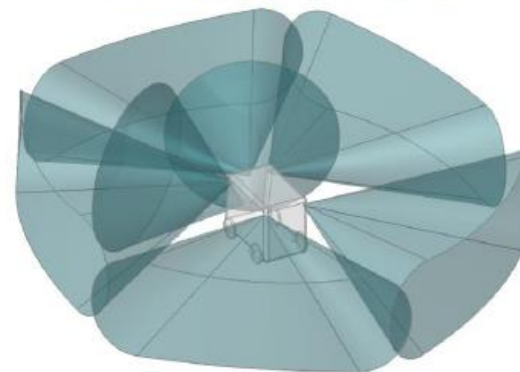
前向增强
 $2*Horizon + 2*Mid$



前向增强+侧向补盲
 $2*Horizon + 4*Mid$



360度+前向补盲
 $5*Horizon + 1*Mid$



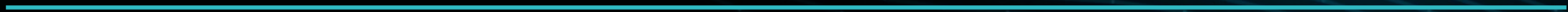
360度+前向补盲增强
 $5*Horizon + 2*Mid$

04.

LIVOX

—

Livox 生态建设



Livox 生态建设

Livox标准数据集

- 多区域、多场景、多对象
- 模拟数据集 (新推出)

开源算法模块

- 多传感器标定算法
- 建图系列算法
- 目标检测算法



学术生态建设

- 高校合作
- 教育套件
- Livox-wiki

开源平台适配

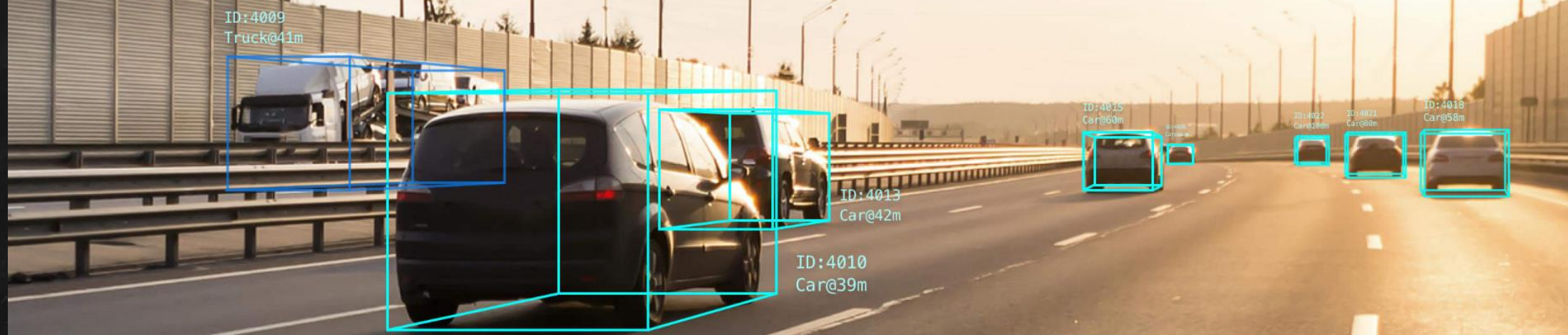
- Autoware
- Apollo
- ROS/ROS2

生态数据集 v1.0

Livox 数据集

丰富数据库，帮你更快用好 Livox LiDAR

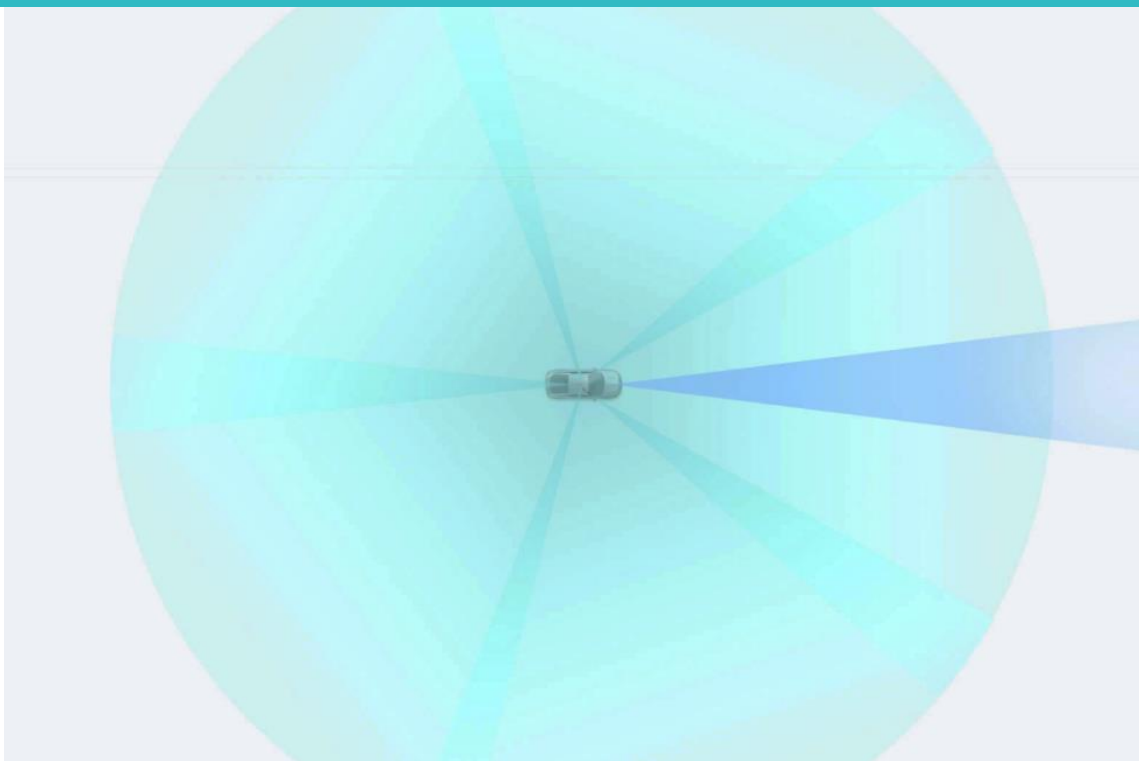
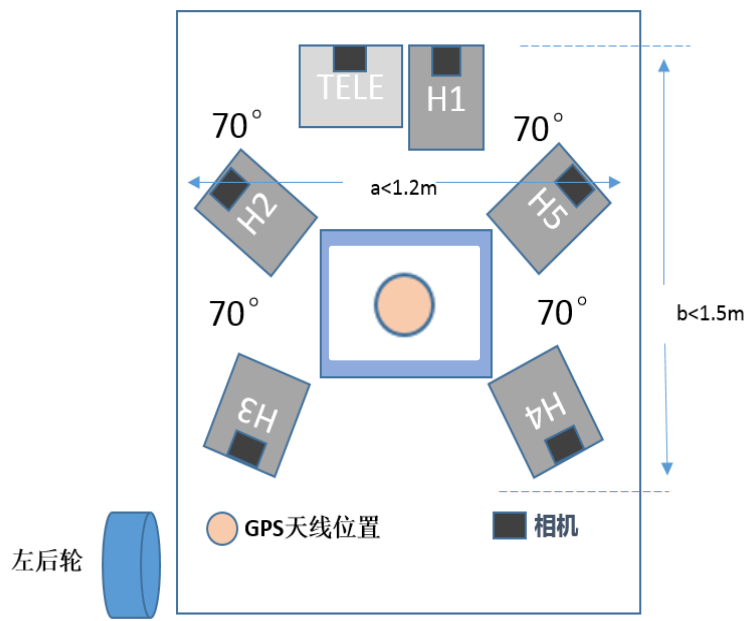
- 62100帧带标注的图像数据
- 10350帧360°Lidar点云数据
- 69个采集场景(每个场景采集时长15秒，采集频率10Hz)
- 17类不同的标注类别
- 丰富的标注属性，包括目标追踪ID，目标运动属性，目标可见区域，点云图像融合标注，全向单向融合标注



生态数据集 传感器配置

传感器配置

- 5个浩界 Horizon 激光雷达
- 1个泰览 Tele-15 超远距激光雷达
- 5个广角摄像头
- 1个长焦摄像头
- GPS 和 IMU 惯性传感器



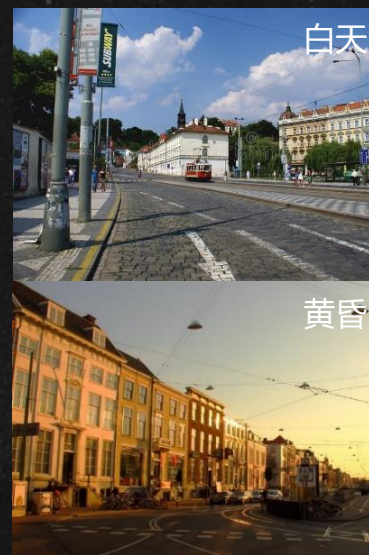
生态数据集 v1.0



多类别标注
(car、bus等17类)



多场景信息采集
(城市、高速、郊区等)



多光线场景
(白天、黄昏等)

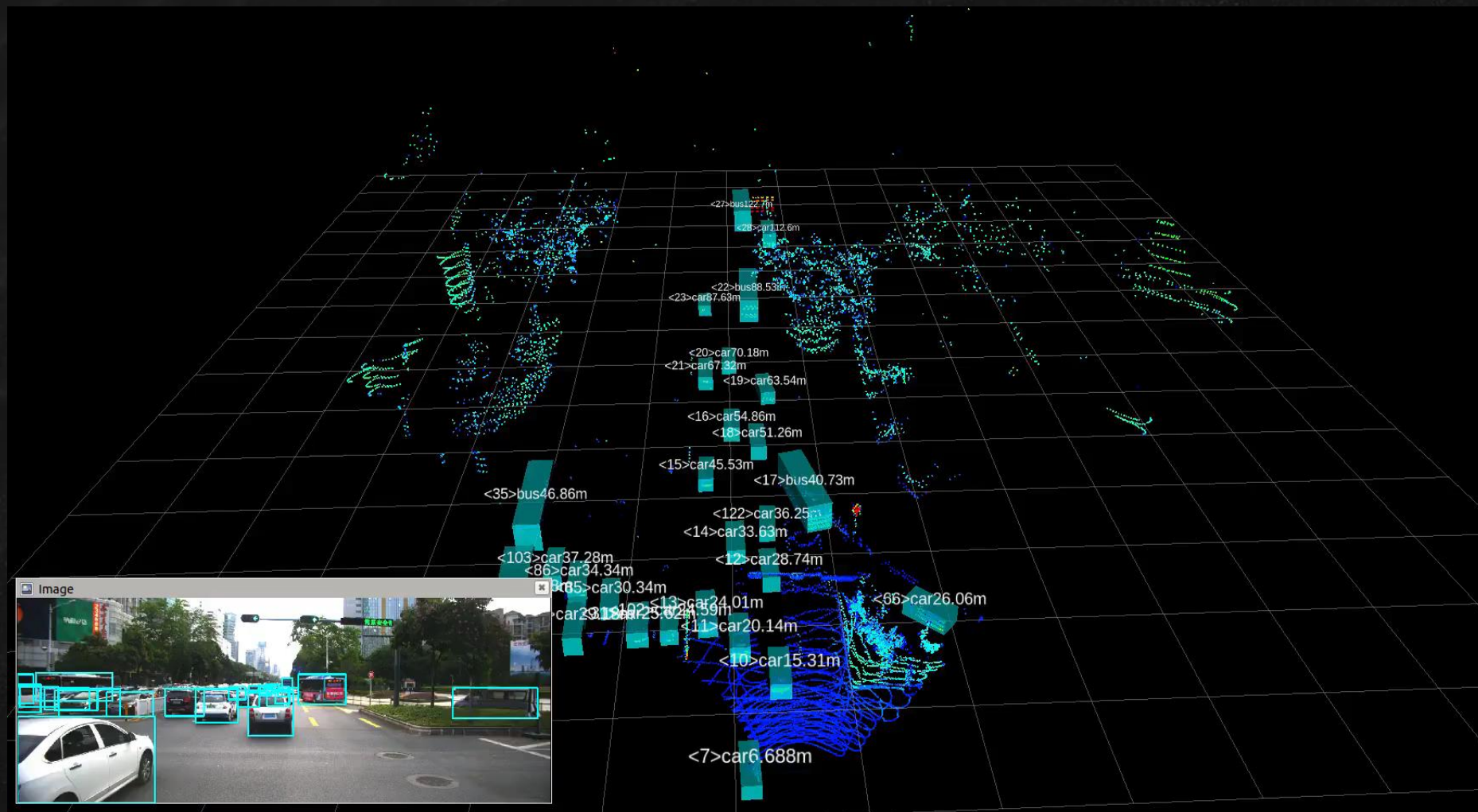


多天气环境信息
(晴天、阴天等)

生态数据集 v1.0 Camera-Lidar 融合标注

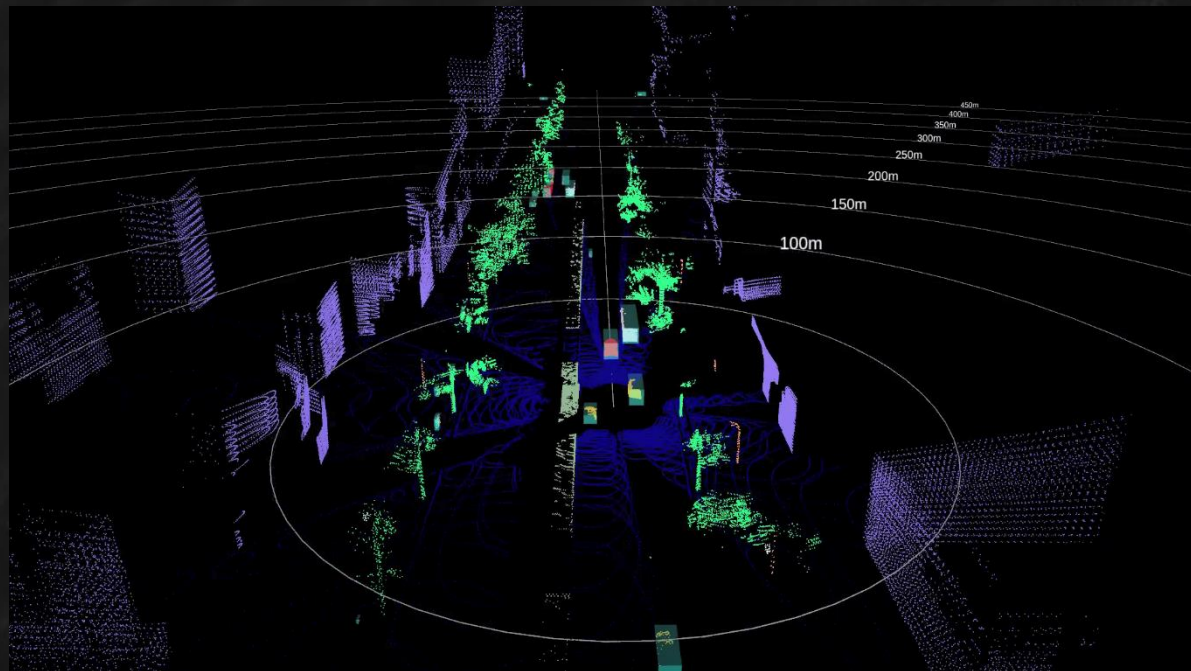
Horizon*1

Camera*1



模拟数据集 v1.0 (已开放下载数据和测试模型)

Horizon*5



模拟数据训练场景



真实场景推理 (50ms on 2080Ti for 200m*100m)

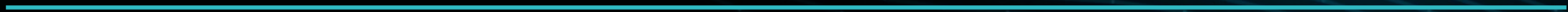
https://github.com/Livox-SDK/livox_detection_simu

05.

LIVOX

—

Livox 开源算法模块



开源算法模块

Livox-SDK

从0到1 解决用户使用/切换Livox的绊脚石,助力用户快速上手开发

多传感器标定

Lidar-lidar 外参标定
Lidar-camera 外参标定等

livox_automatic_calibration
livox_camera_lidar_calibration

建图与定位

提供基于Livox lidar的
SLAM系列算法示例

livox_mapping
horizon_highway_slam

点云拼接

利用其它传感器提供位姿
信息进行点云拼接

livox_high_precision_mapping
livox_scanner

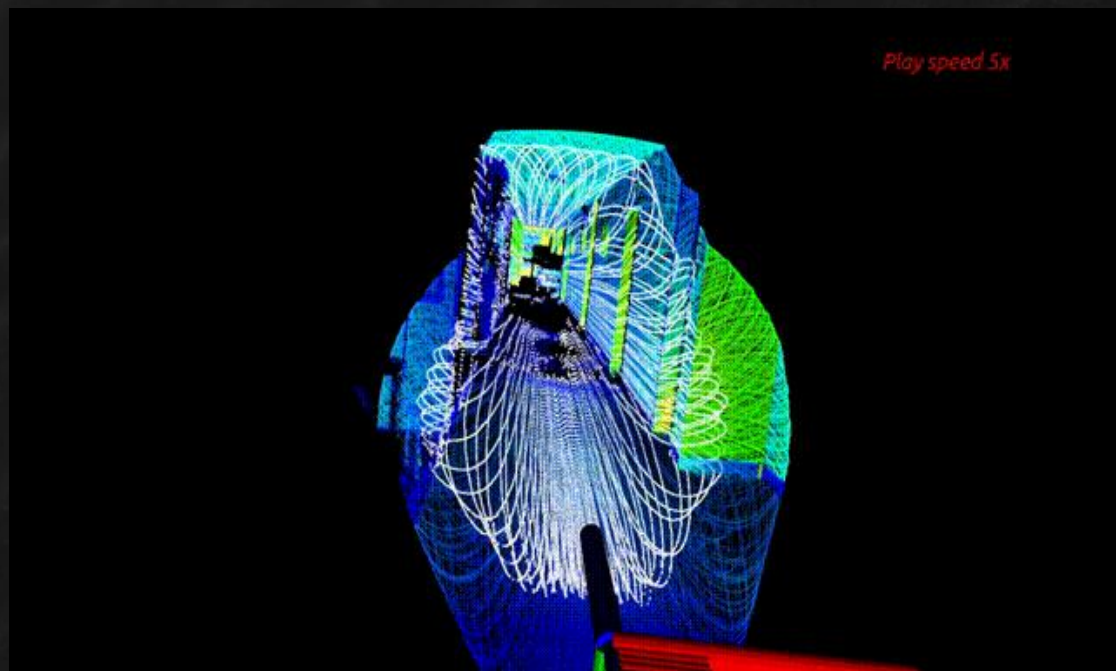
目标检测

提供基于Livox lidar的目
标检测算法示例

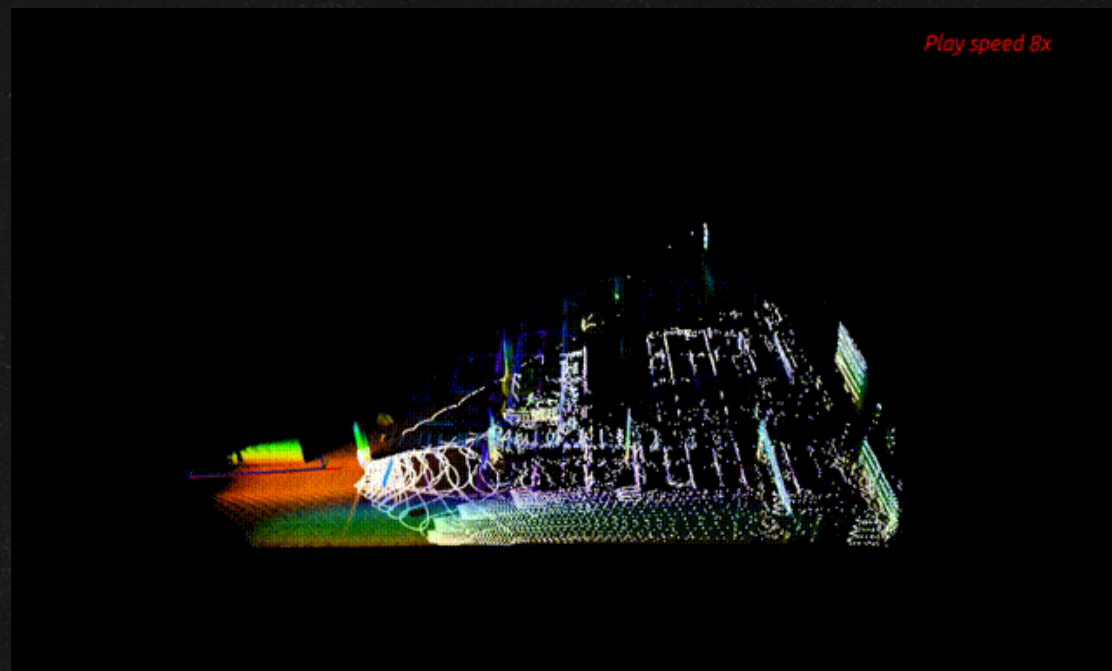
livox_detection
livox-dataset-kit

开源算法模块 建图与定位

livox_mapping (纯点云) 基于LOAM算法改进, 适用于移动低速场景

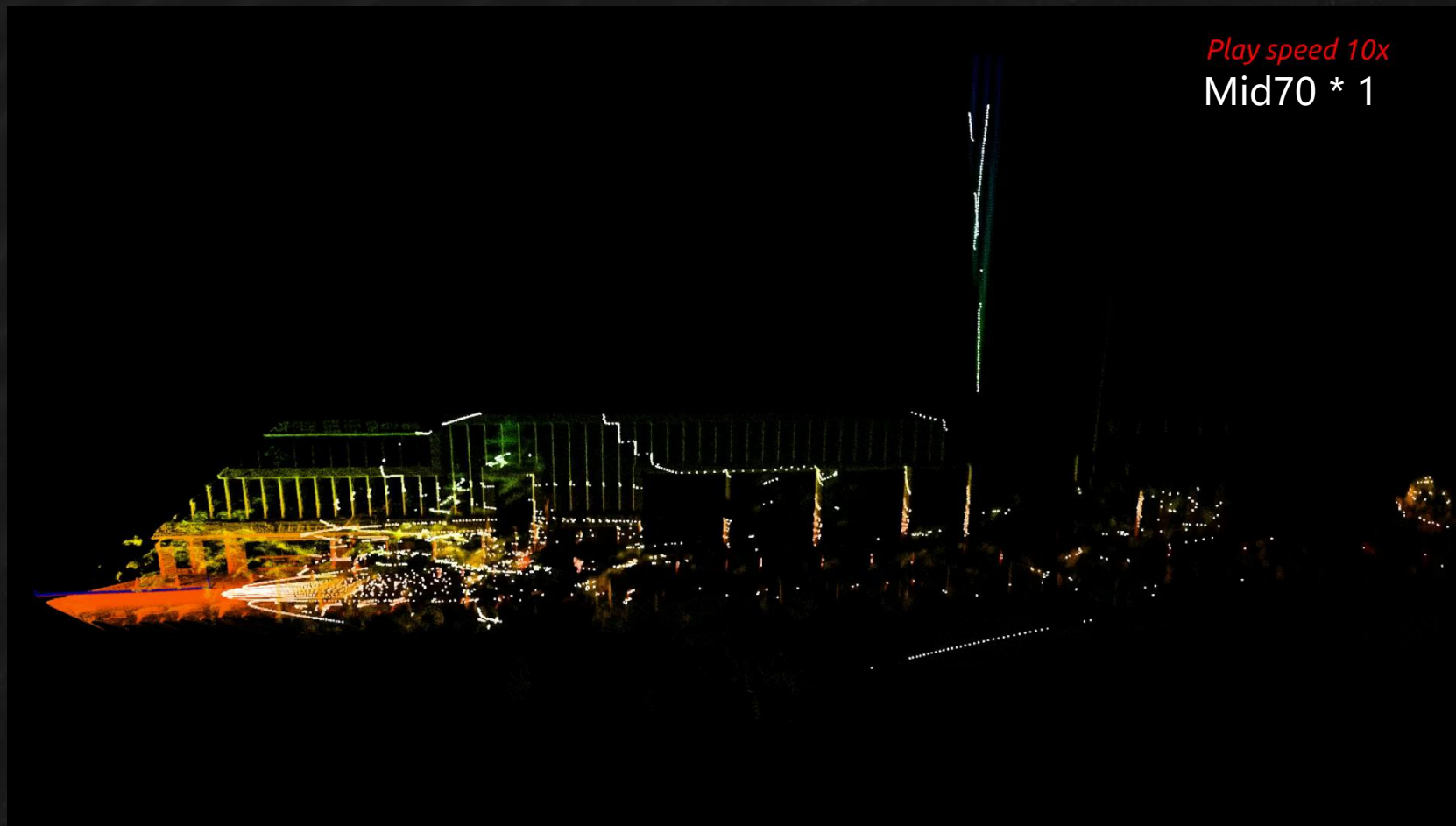


Mid40 * 1



Horizon * 1

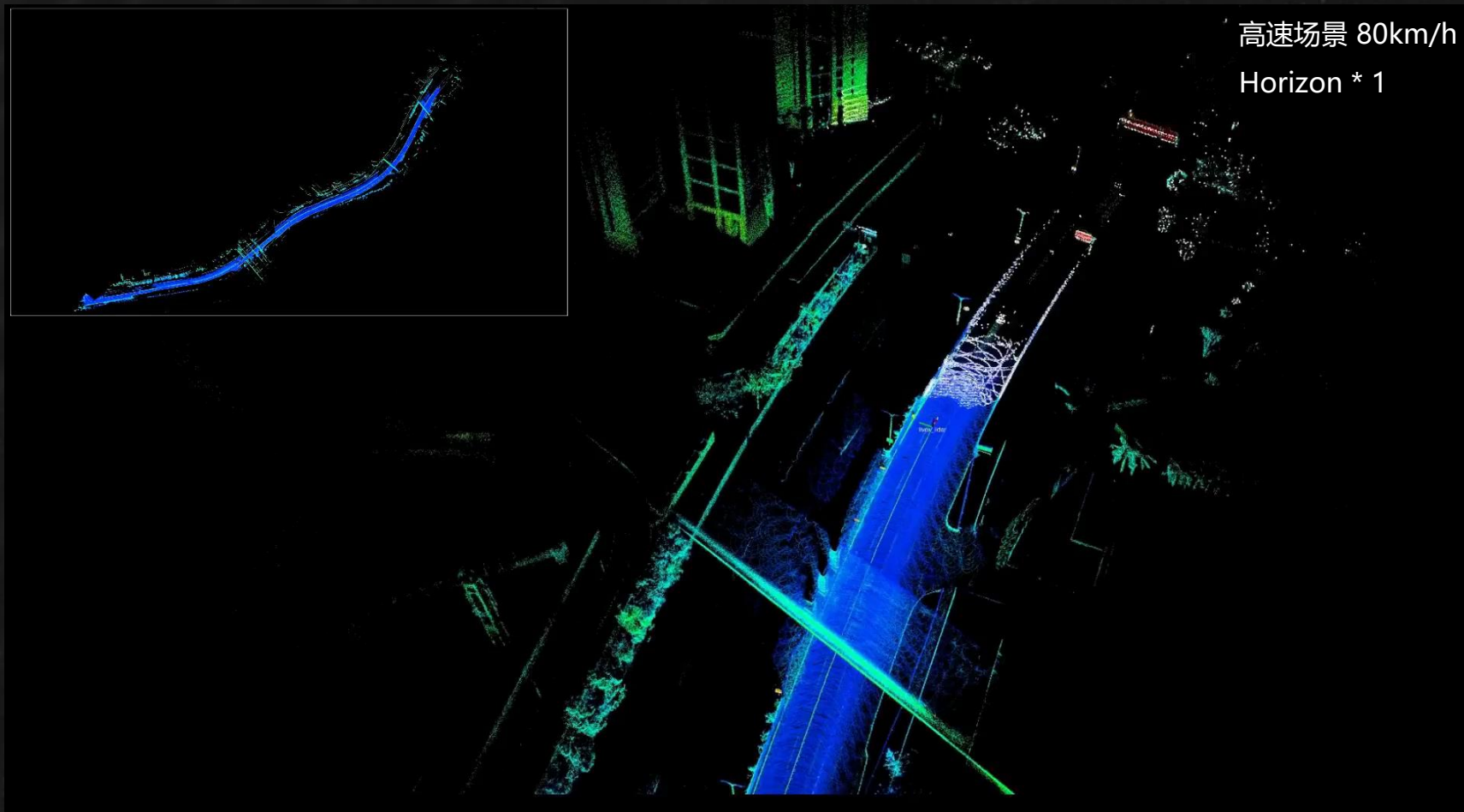
建图与定位 livox_mapping



Play speed 10x
Mid70 * 1

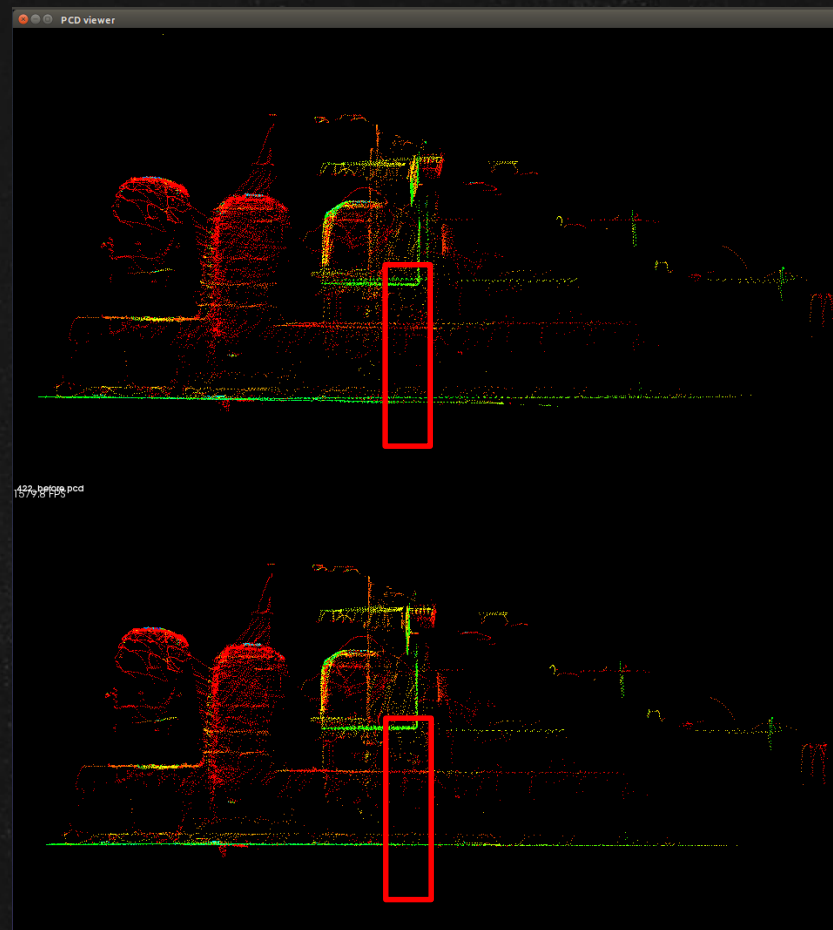
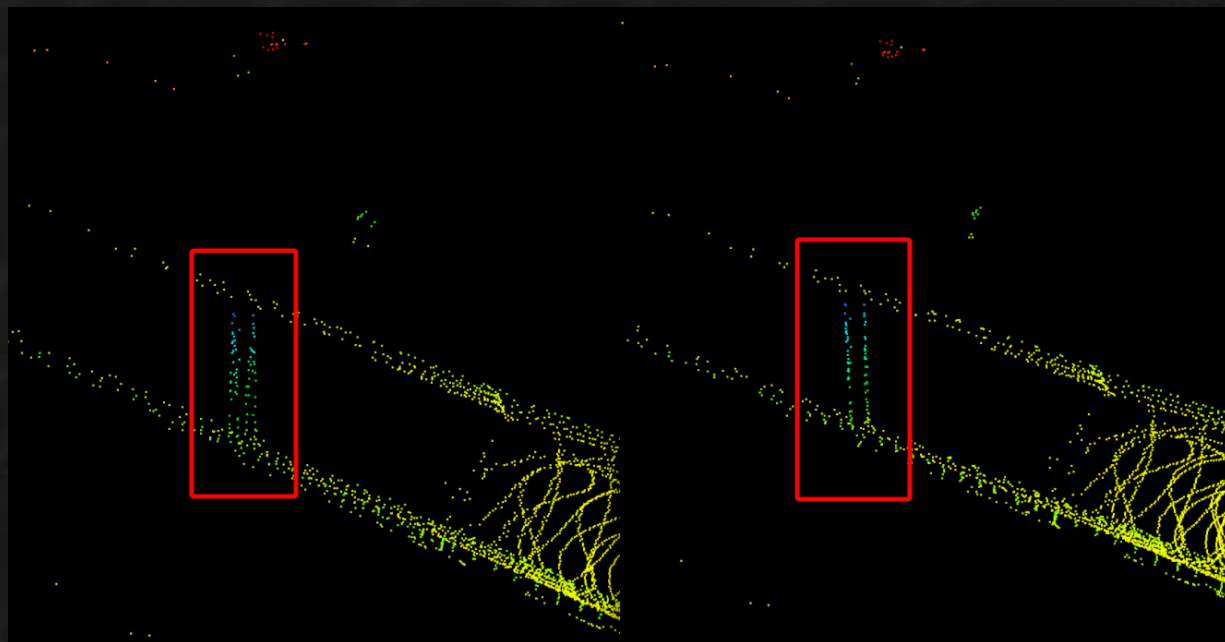
- 1.支持多种型号Livox lidar
- 2.针对Livox lidar的特征提取策略
- 3.适应小FOV lidar

建图与定位 horizon_highway_slam



1. Lidar IMU的紧耦合方案
2. 高速情况下的自运动畸变矫正

建图与定位 horizon_highway_slam 自运动畸变矫正对比



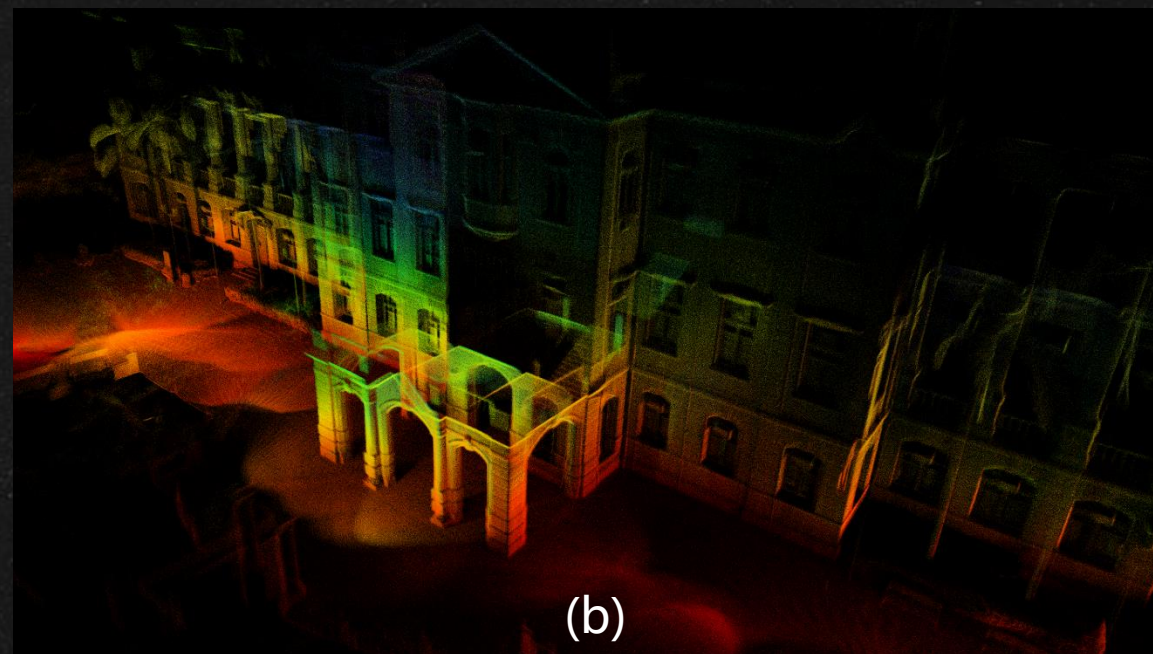
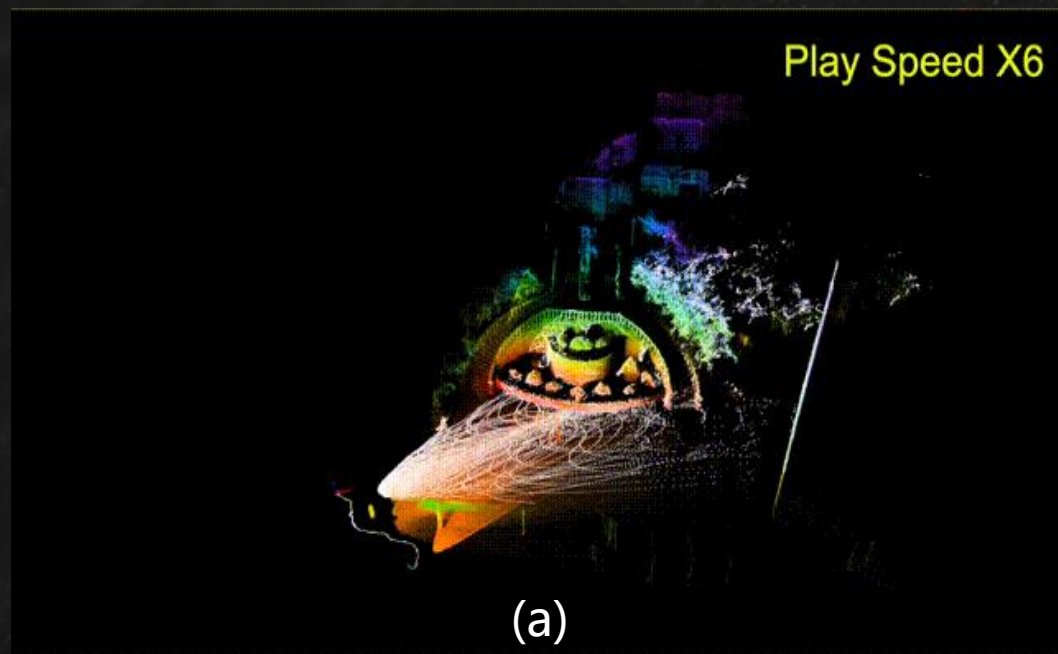
其他第三方基于Livox的开源建图与定位算法

(a) 基于Livox纯点云的mapping算法 https://github.com/hku-mars/loam_livox

Loam_livox: A fast, robust, high-precision LiDAR odometry and mapping package for LiDARs of small FoV

(b) 雷达+惯导 紧耦合系统 https://github.com/hku-mars/FAST_LIO

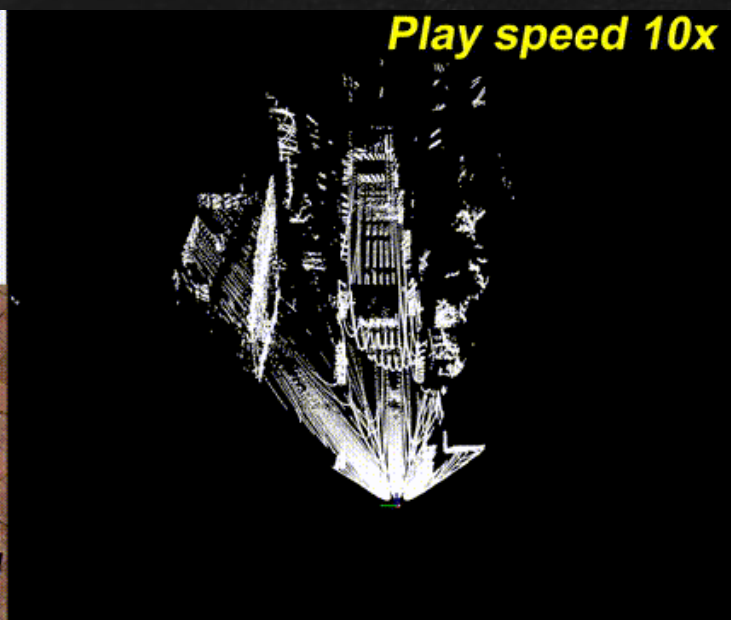
FAST-LIO: A Fast, Robust LiDAR-inertial Odometry Package by Tightly-Coupled Iterated Kalman Filter



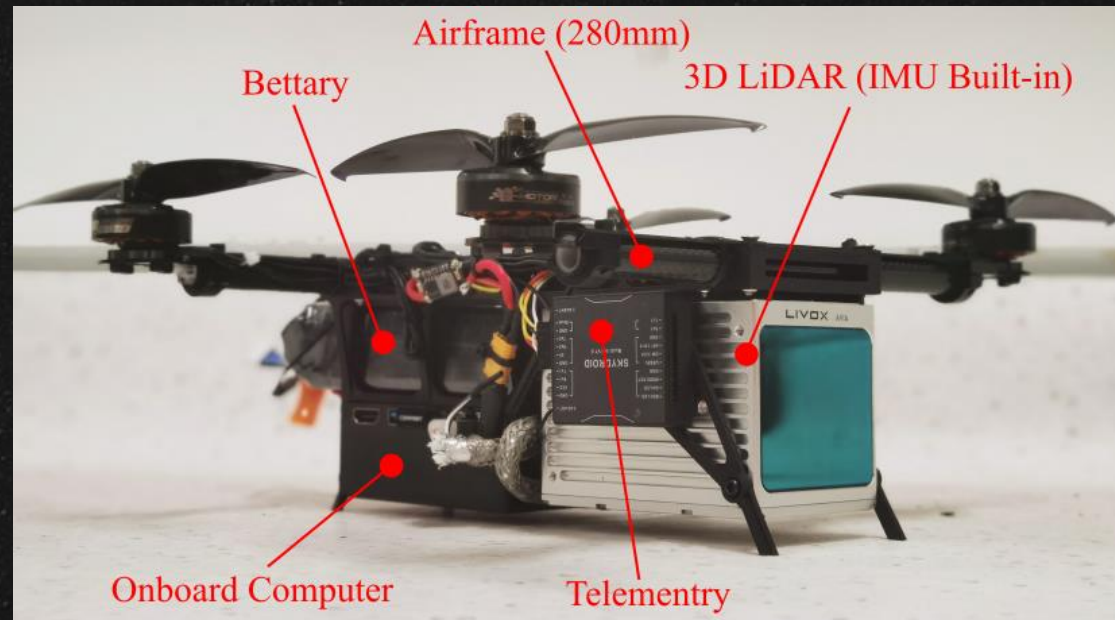
其他第三方基于Livox的开源建图与定位算法

利用Livox进行三维感知的无人小车和无人机

Loam_livox: A fast, robust, high-precision LiDAR odometry and mapping package for LiDARs of small FoV



(a)

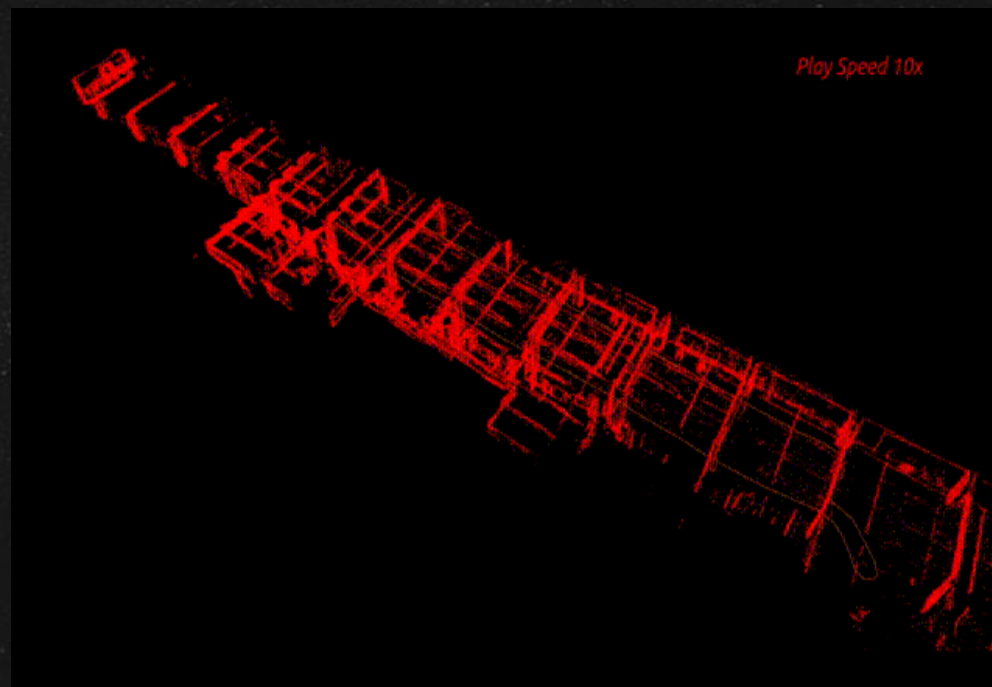
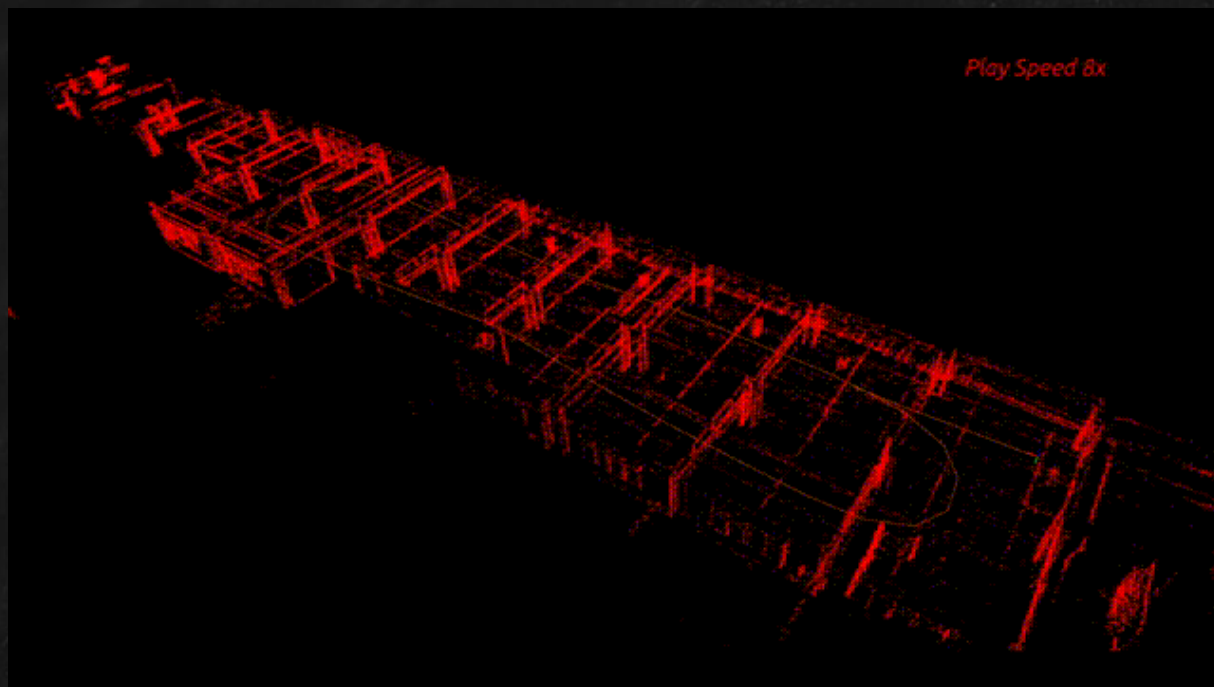


(b)

重定位

实际应用的案例中，我们使用了robomaster小车配合Livox lidar进行测试，通过我们的建图定位算法结合小车控制算法后，可以实现小车自主巡线功能

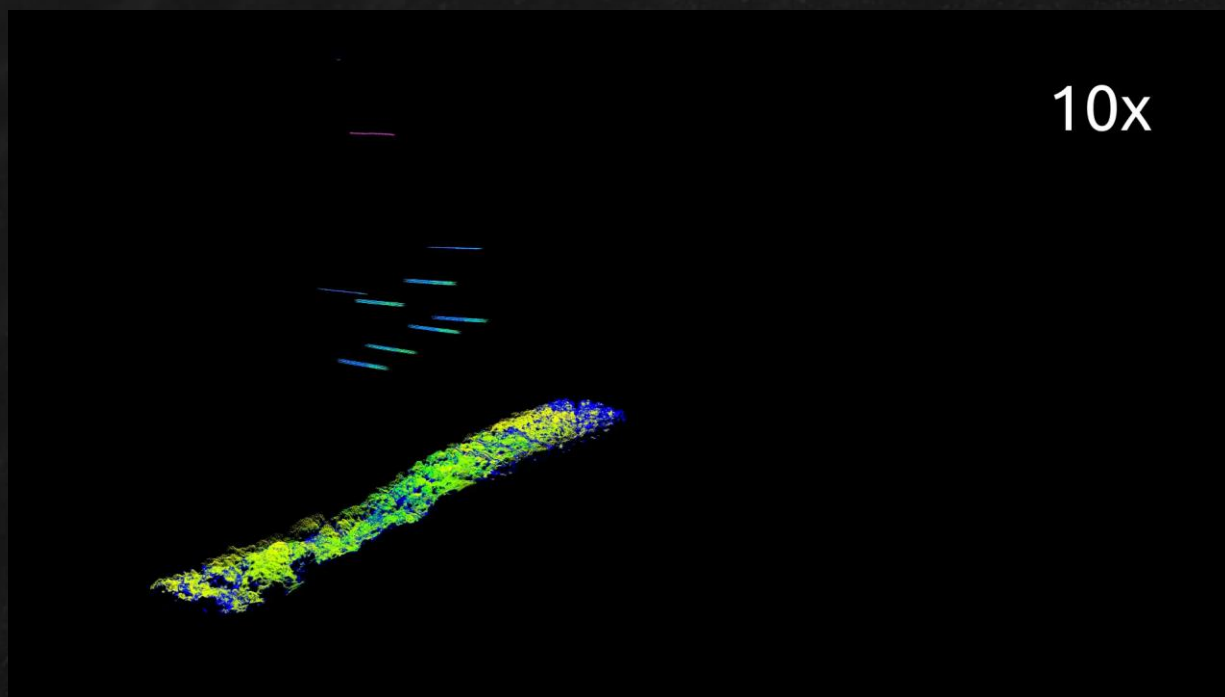
https://github.com/Livox-SDK/livox_relocalization



点云拼接

livox_high_precision_mapping 基于高精度惯导系统和Livox 激光雷达实时建图

https://github.com/Livox-SDK/livox_high_precision_mapping

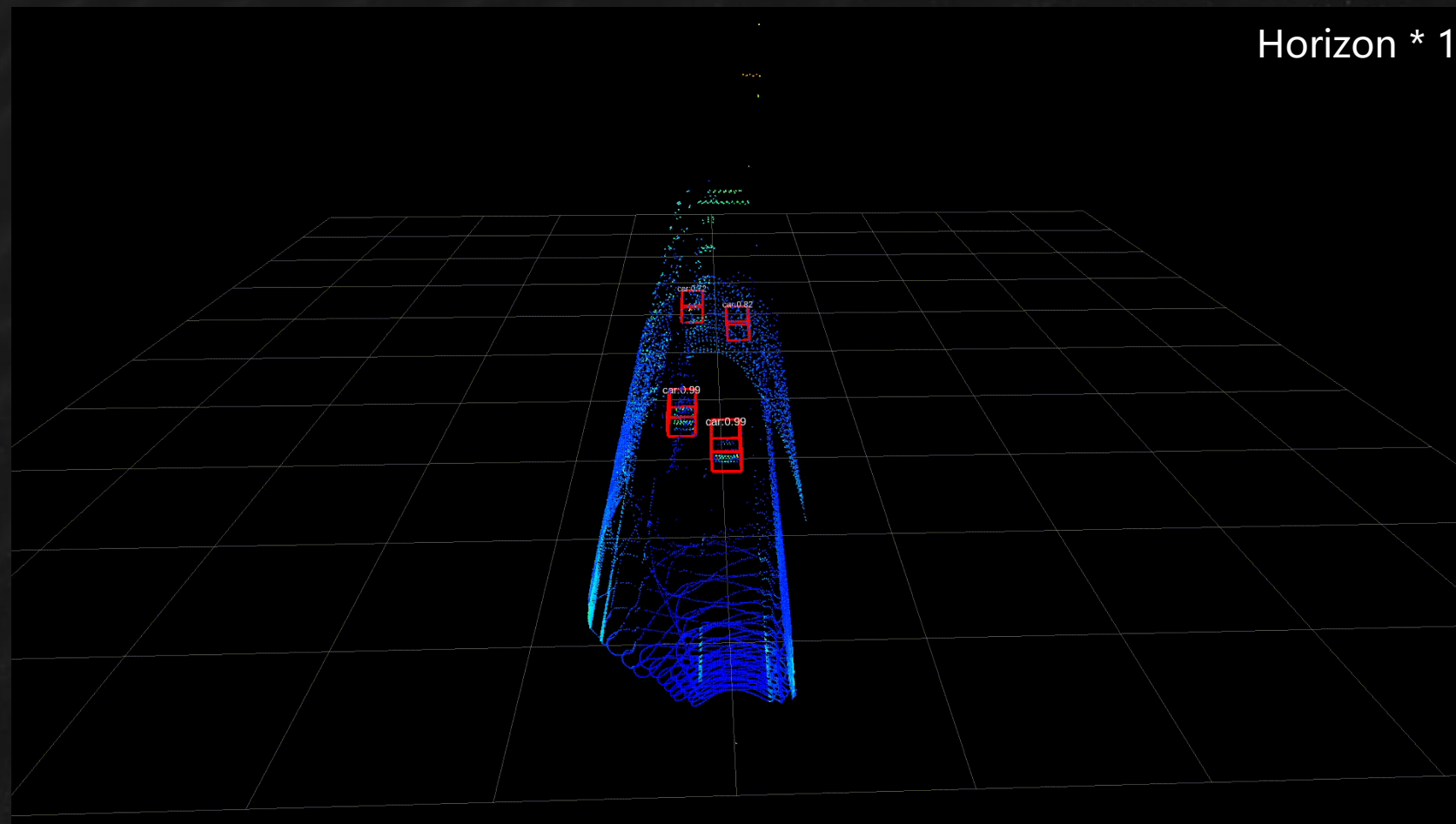


10x



Mid-40 *1

目标检测 livox_detection

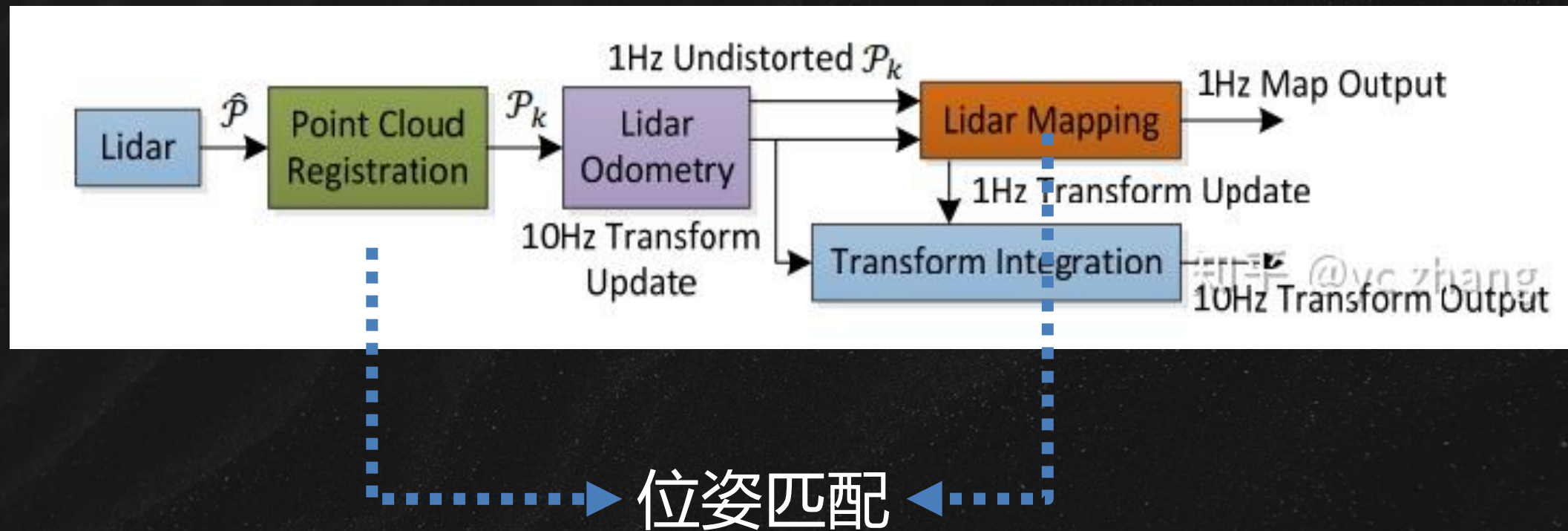


Horizon * 1

- 1.实时检测、有效检测距离100m
- 2.适应多目标类别多场景
- 3.灵活部署和迁移

建图与定位算法

基于点云的建图与定位算法主流框架

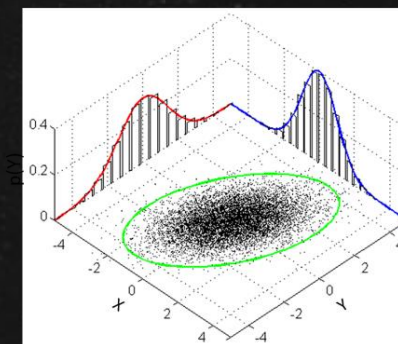
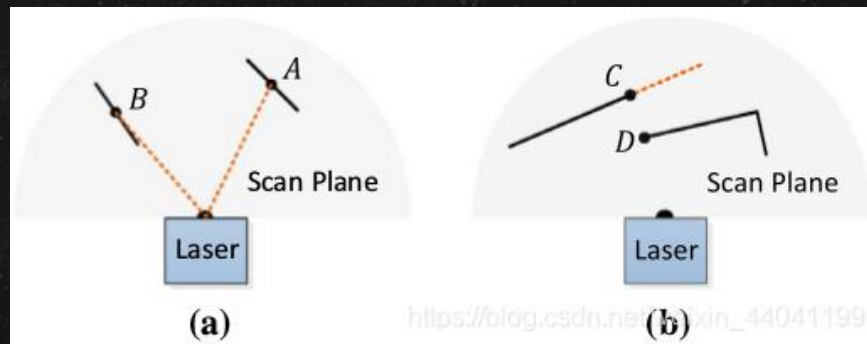
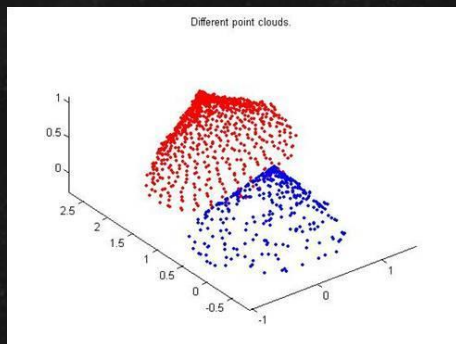


Zhang, Ji, and Sanjiv Singh. "LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time." *Robotics: Science and Systems*. Vol. 2. No. 9. 2014.

建图与定位算法

基于点云的位姿匹配常见思路

	icp-based	feature-based	NDT-based	Multi-sensor
方法特点	基于ICP匹配算法估计位置姿态 <ul style="list-style-type: none">ICPGeneralized-ICP	基于线/面结构直接提取点云特征。	使用NDT正态分布变换进行位姿匹配	主要是利用图像+IMU+点云融合。包括紧耦合，松耦合等。
典型框架	BLAM等系列	LOAM/A-LOAM等系列	NDT_Mapping Autoware系列	LIO-SAM等
优缺点	算法简单，没有融合多传感器，且没做运动模型的估计	精度最高，速度较快，算法较复杂	算法较为简单，易于实现，精度一般。需要较好的初值才能进行匹配	融合多种信息进一步提升精度，算法较复杂，需要高精度同步与标定，并且需要初始化，速度较慢



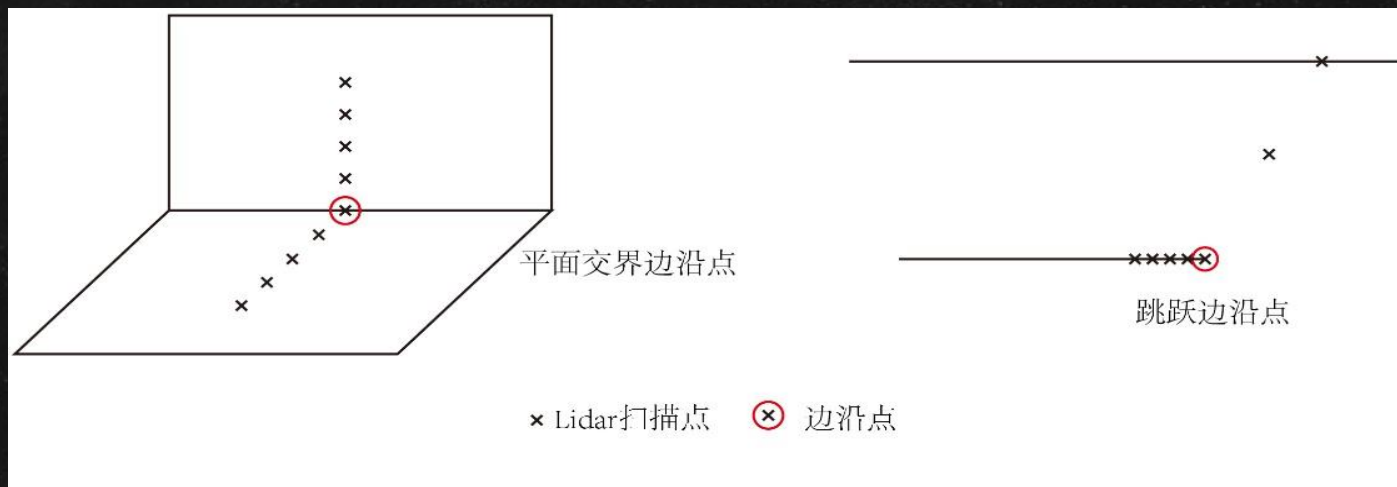
建图与定位算法

Livox Mapping 的特征提取策略和匹配策略

Livox Mapping特征点提取是LOAM提取特征点的改进，是为了适配LOAM算法，思路也是和LOAM类似，即采用滑窗的特征点提取的方法，建议使用Livox mapping代码之前请先读LOAM的文章：LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time, Ji Zhang and Sanjiv Singh.

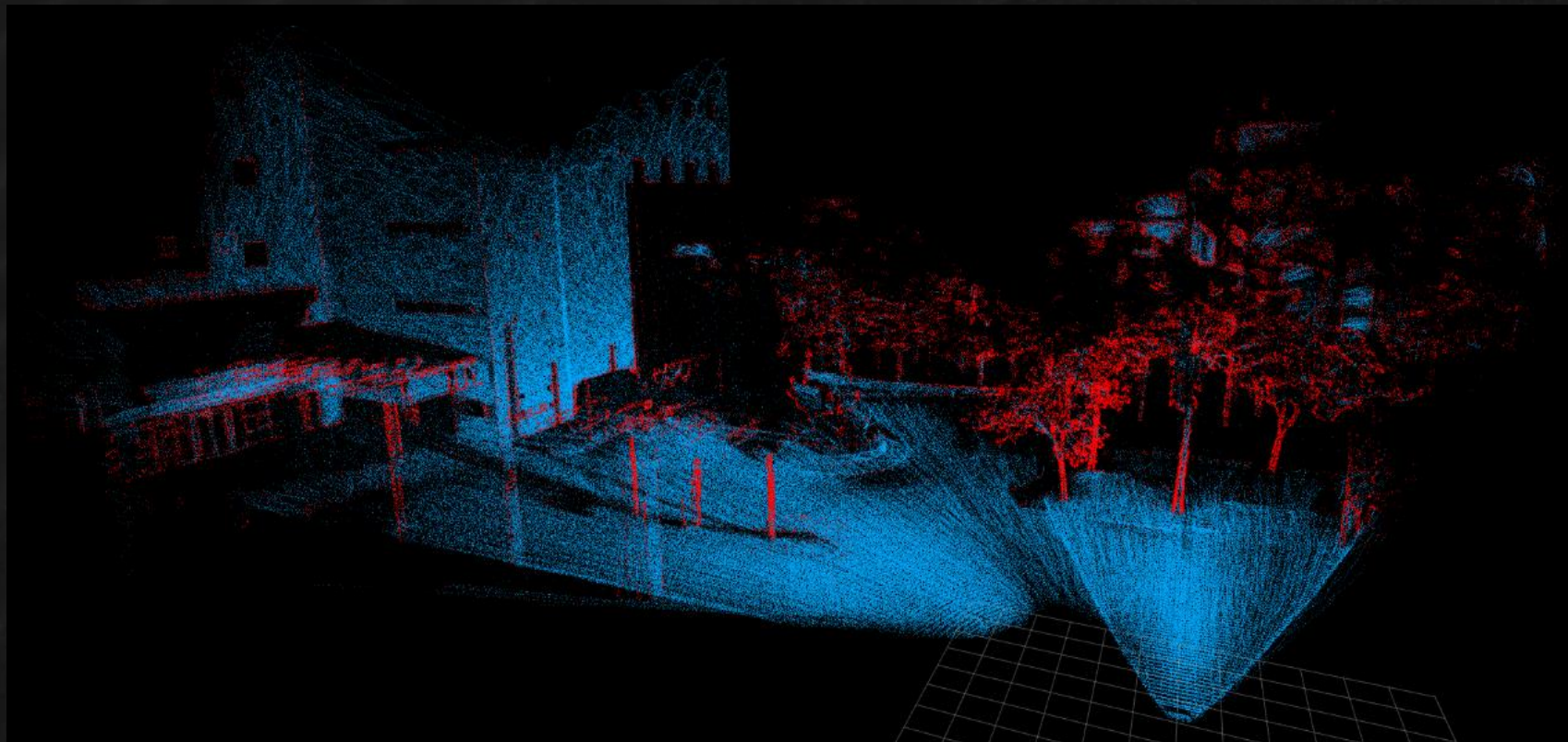
Livox Mapping的特征点一共分为两种，平面点和边沿点，而为了适配Livox雷达特殊的pattern，所以与LOAM不同的是，Livox Mapping把边沿点又分为**平面交界边沿点**和**跳跃边沿点**两种（如图所示），提升了特征提取的鲁棒性，避免了特殊pattern拐角点处的误判情况

另外，对于比较稀疏的LiDAR pattern，例如Mid-40，建议略过scan-to-scan方式，直接采用scan-to-map方式进行匹配，提升匹配稳定性



基于点云的建图与定位算法主流框架

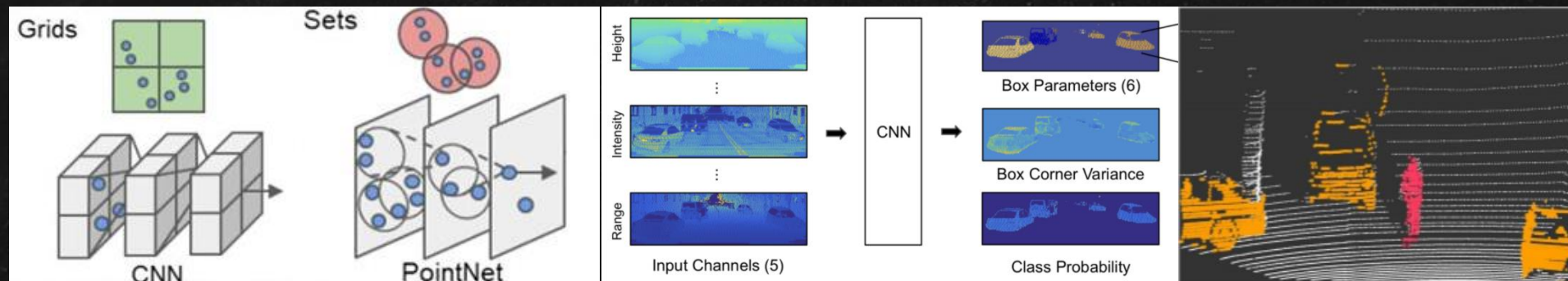
Livox Mapping 提取的平面特征点和边沿特征点



目标感知算法

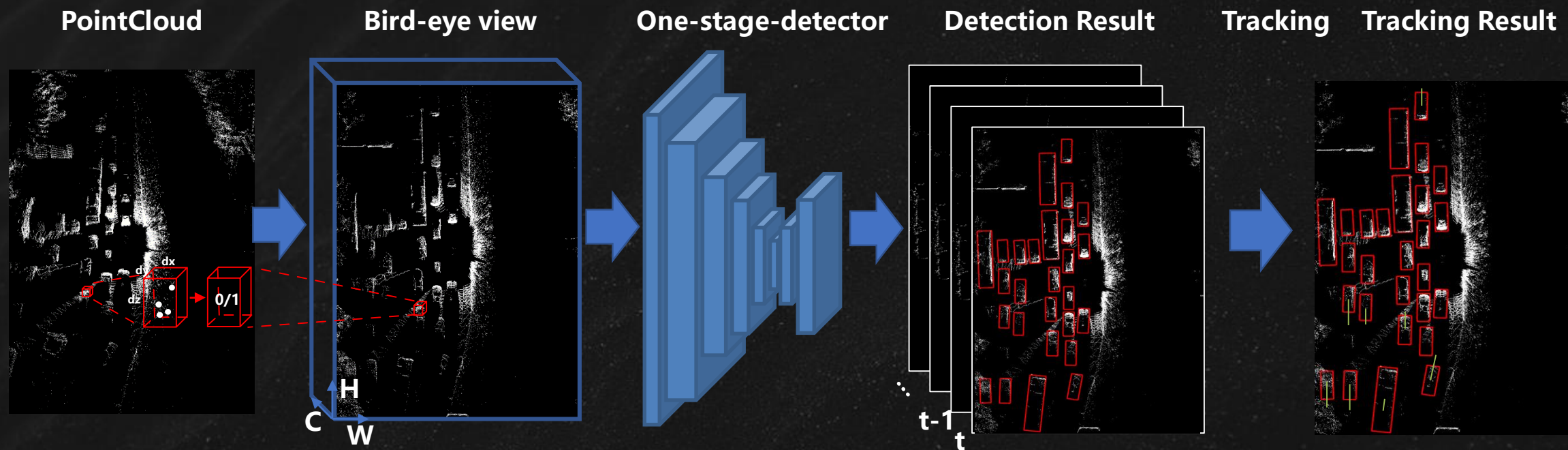
基于点云的目标检测的常见思路

	Voxel-based	Point-based	Range-view	Multi-sensor
方法特点	特征提取： <ul style="list-style-type: none">• 3D spconv• 2D conv 在BEV进行目标检测	基于PointNet结构直接提取点云特征。	2D卷积在Lidar的range view中直接进行目标检测	主要是图像和点云信息的前/后融合。包括多视图融合、语义信息融合等。
典型框架	SECOND/PointPillars, YOLO3D/PIXOR等系列	PV-RCNN/3DSSD PointRCNN等系列	LaserNet系列	F-pointnet/MV3D PointPainting等
优缺点	速度可以很快，体素化会有信息损失	精度最高，速度较慢，显存占用高	速度较快，大数据集上训练精度较好，检测距离近	融合多种信息进一步提升精度，速度较慢



目标感知算法

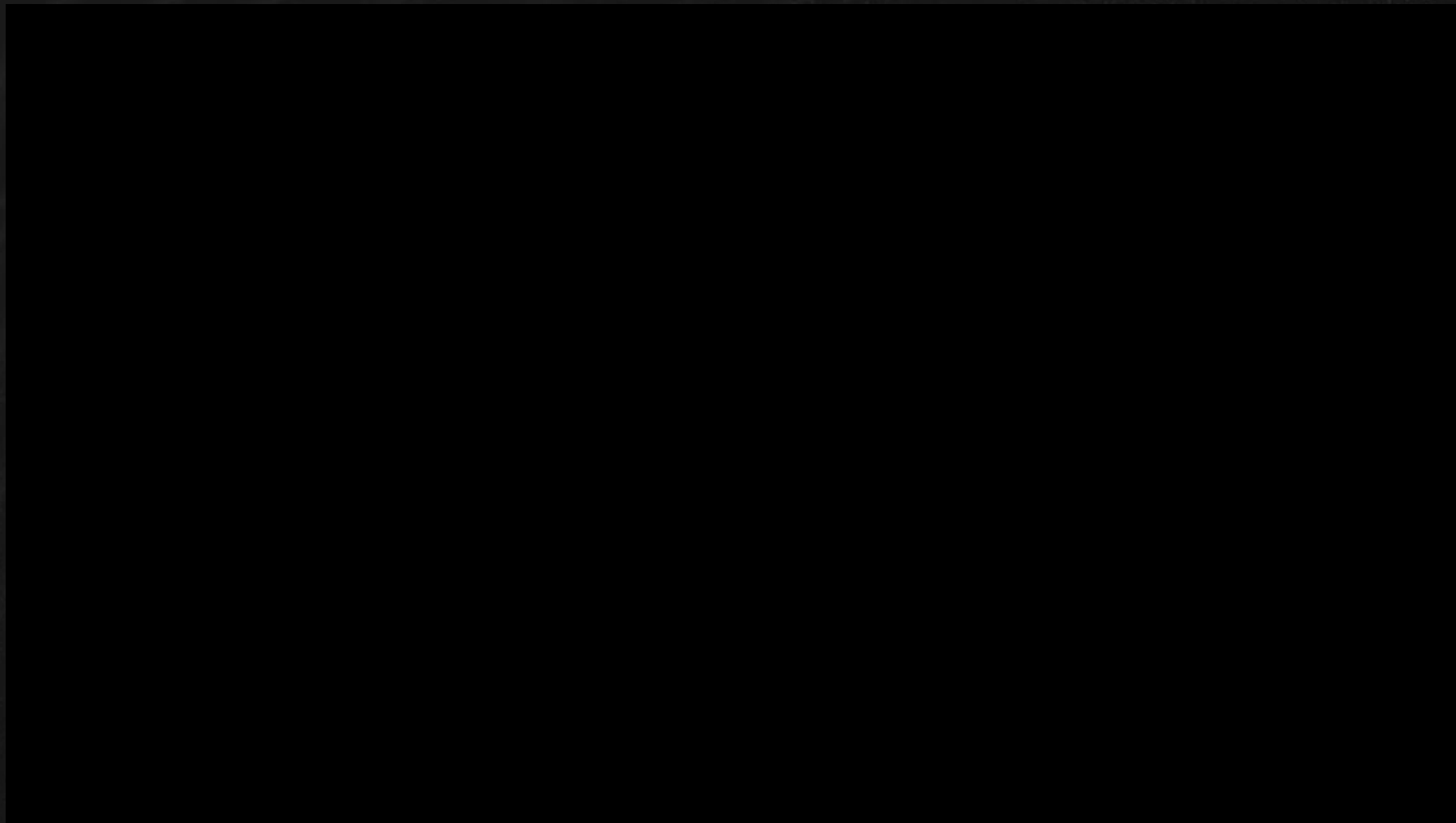
建议使用: Voxel-based + BEV + 经典跟踪框架 (EKF,UKF等)



Detection&Tracking 整体流程示意图

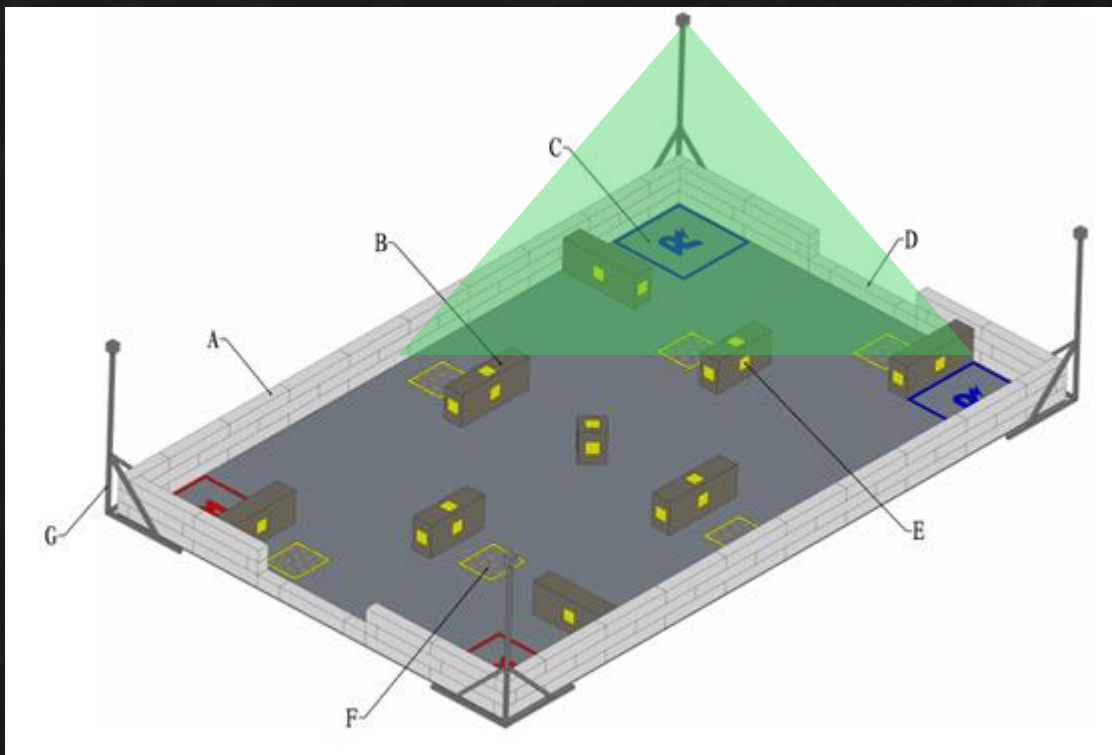
目标感知算法

Livox 算法团队最新目标检测+跟踪算法研究成果 (最远500m, 5 Horizon+1 TELE XAVIR平台)



目标感知算法

固定场景的简单Detection算法 (无需大量标注数据训练)



点云输入



地面提取

- 先验高度提取
- RANSAC提取

目标分割

- 聚类算法
- 区域高度生长算法

目标追踪

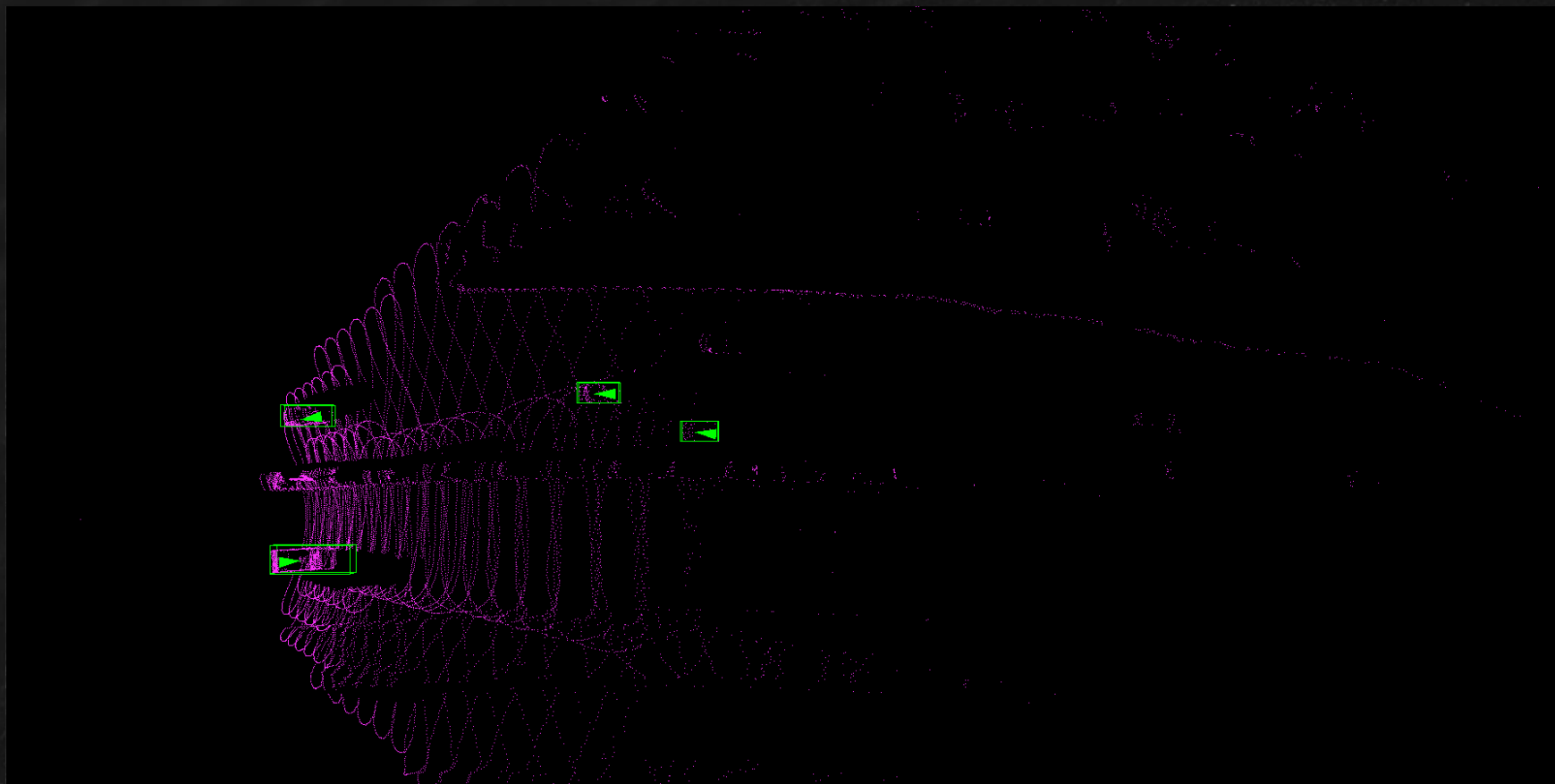
- 邻域关联
- 特征关联等



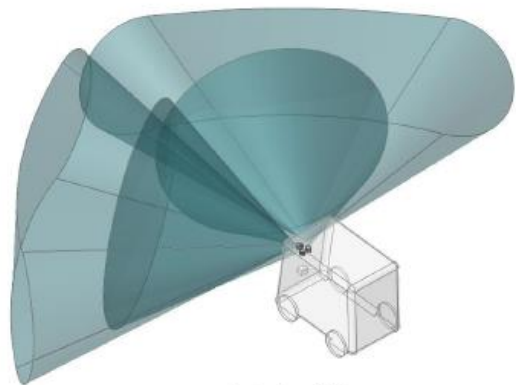
输出目标id,
位置, 速度

目标感知算法

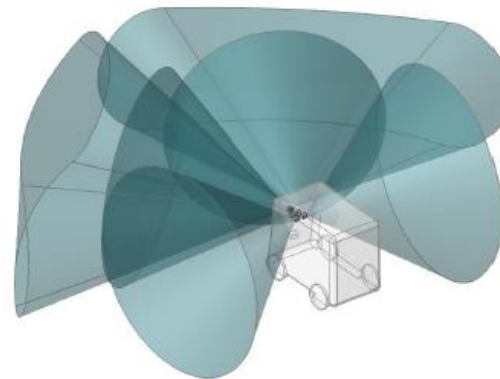
固定场景下，基于上述简单Detection算法的运动目标跟踪



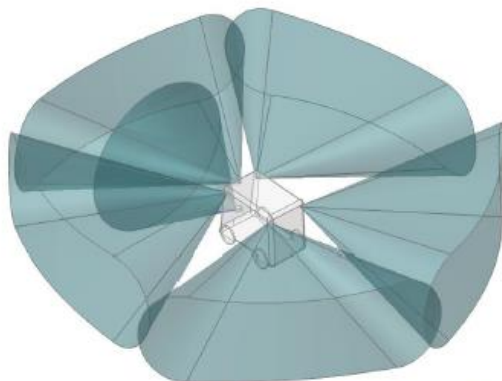
低速自动驾驶，移动机器人感知布局方案



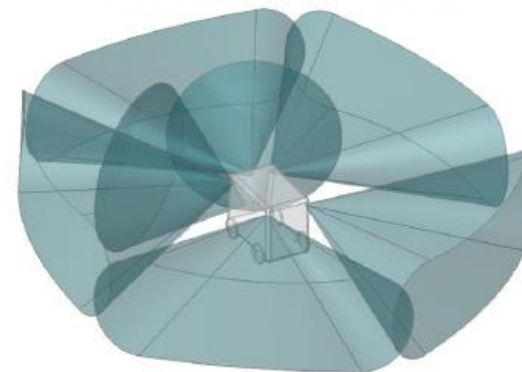
前向增强
 $2*Horizon + 2*Mid$



前向增强+侧向补盲
 $2*Horizon + 4*Mid$

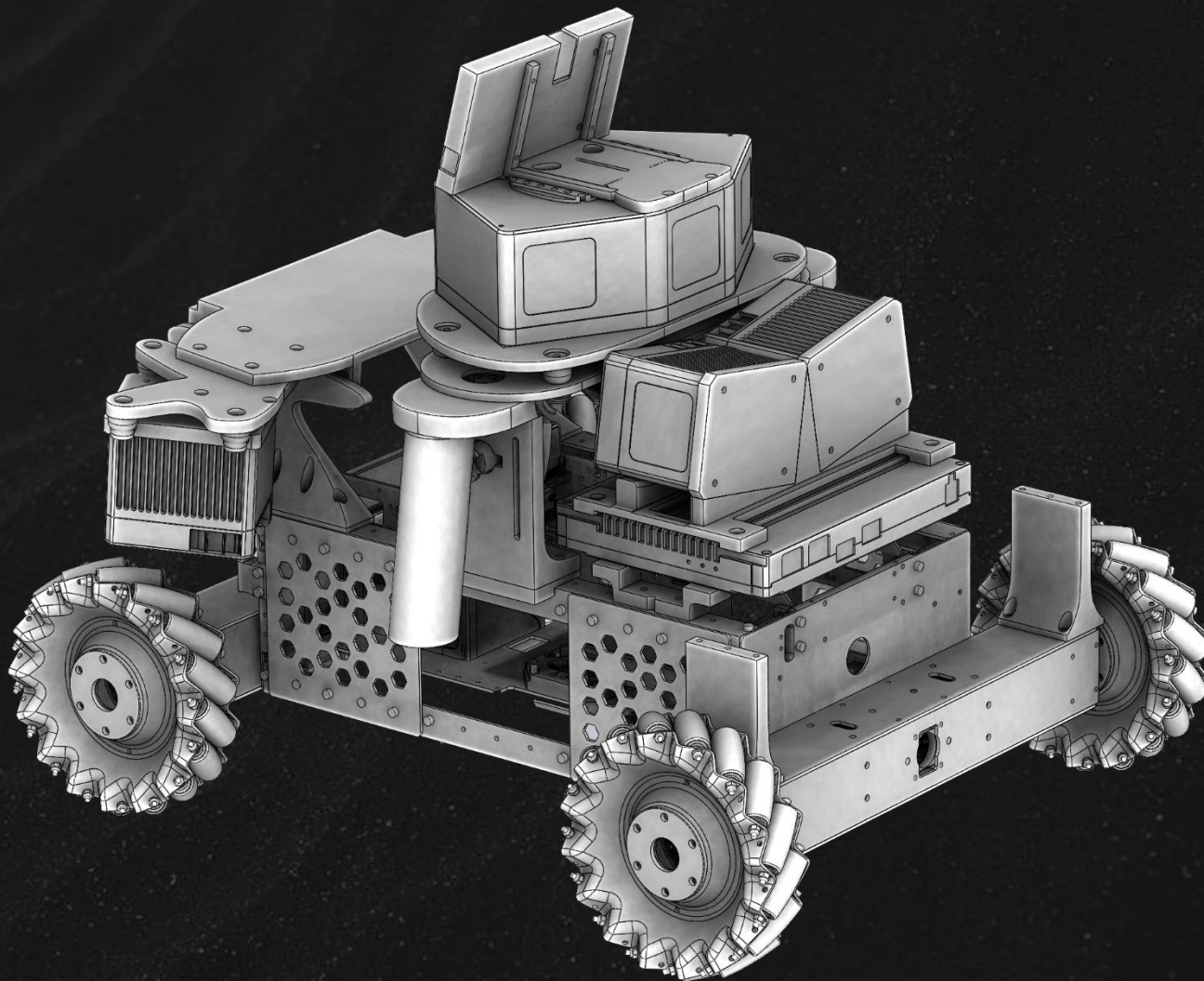


360度+前向补盲
 $5*Horizon + 1*Mid$



360度+前向补盲增强
 $5*Horizon + 2*Mid$

低速自动驾驶，移动机器人感知布局方案



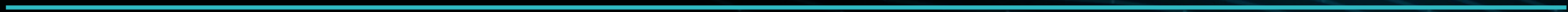
https://github.com/hku-mars/lidar_car_platfrom

06.

LIVOX

—

Livox 万能工具箱-Wiki



Livox Wiki & 资料

LIVOX

产品 ▾

开发者 ▲

应用案例 ▾

下载中心

新闻中心

服务与支持

联系我们

数据集

SDK

学术论文

Wiki

小鹏 × LIVOX

- 产品使用
- 基础教程
- 开发者资料汇总
- FAQ



LIVOX

Livox Wiki & 资料

🏠 Livox wiki
latest

Search docs

LIVOX

1. 产品
2. Livox的扫描特性简介
3. Livox的点云属性与惯性坐标系
4. 案例介绍

基础教程


1. 单雷达数据采集
2. 多雷达数据采集 (使用览沃枢纽 Livox Hub)
3. 数据格式及其转换
4. Livox 雷达标定
5. Livox设备时间同步
6. Livox SDK

开发者资料汇总

📖 Read the Docs v: latest ▾

🏠 » Welcome to LIVOX !

Welcome to LIVOX !



[Livox Homepage](#)

[Livox Forum](#)

[Livox Wiki English Version](#)

Livox

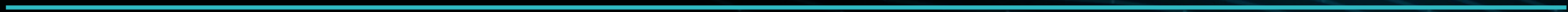
- 1. 产品
 - 1.1. 新品Mid-70
 - 1.2. 新品Avia
 - 1.3. 觅道Mid
 - 1.4. 浩界Horizon
 - 1.5. 泰览Tele

07.

LIVOX

—

Q&A



培训反馈

获取Livox 技术支持及高校产品试用机会

填写培训反馈赢RM周边
申请Livox 激光雷达产品试用



介绍如下信息：

- 学校名称
- 项目 / 实验室名称
- 项目介绍及方案简要介绍
- 激光雷达在项目中的应用简单介绍
- 试用 / 技术支持需求等

Thanks!