УДК 004.4

LIO-SAM КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ: ИНТЕГРАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

Прохоров К.В., студент гр. ИИб-231, 3 курс,
Научный руководитель: Сыркин И.С., к.т.н., доцент.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
Россия, г. Кемерово

Современные мобильные роботы для эффективного решения задач навигации в сложных и неструктурированных средах требуют точного знания собственного местоположения и наличия детализированной карты окружающего пространства. LIO-SAM представляет собой мощное решение данных проблем, устраняя ключевые ограничения лидарных одометрических систем. Основная проблема лидар-одометрии заключается в накоплении ошибок при движении, особенно при резких поворотах. LIO-SAM решает эту проблему за счет интеграции высокочастотных данных с IMU, которые обеспечивают надежное предсказание движения между низкочастотными обновлениями с лидара.

Лидар (LiDAR, Light Detection and Ranging) – это датчик, который посылает короткие импульсы невидимого глазом лазерного света и засекает за какое время возвращается отраженный свет. Таким образом система узнает яркость и дальность цели достаточно точно. Испуская множество импульсов за короткий промежуток времени, лидар позволяет в реальном времени построить трёхмерную карту окружающих ТС объектов в виде облака точек, как показано на рисунках 1 и 2.

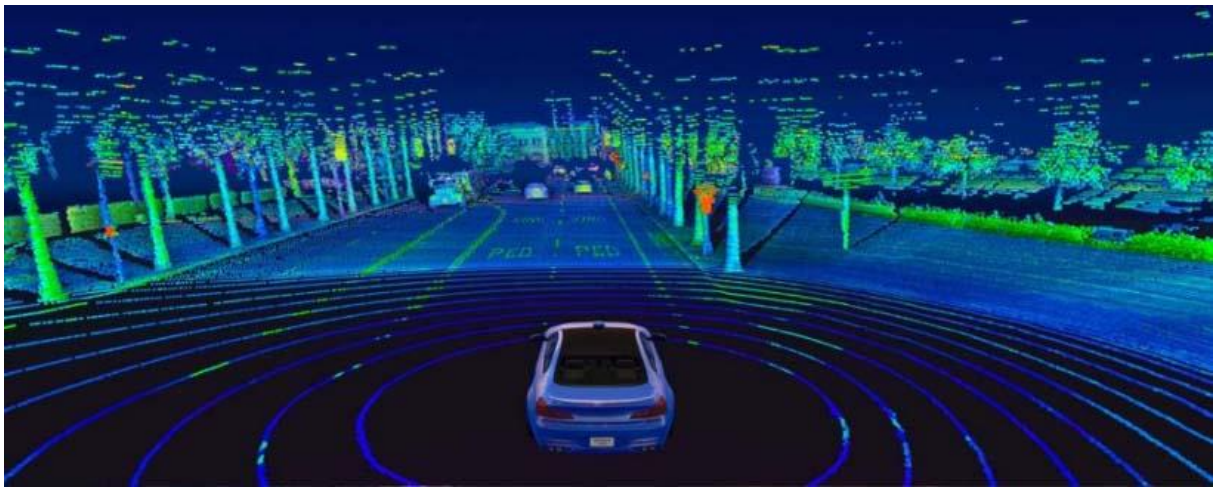

Рисунок 1 – Облако точек, полученное измерением устройства LiDAR

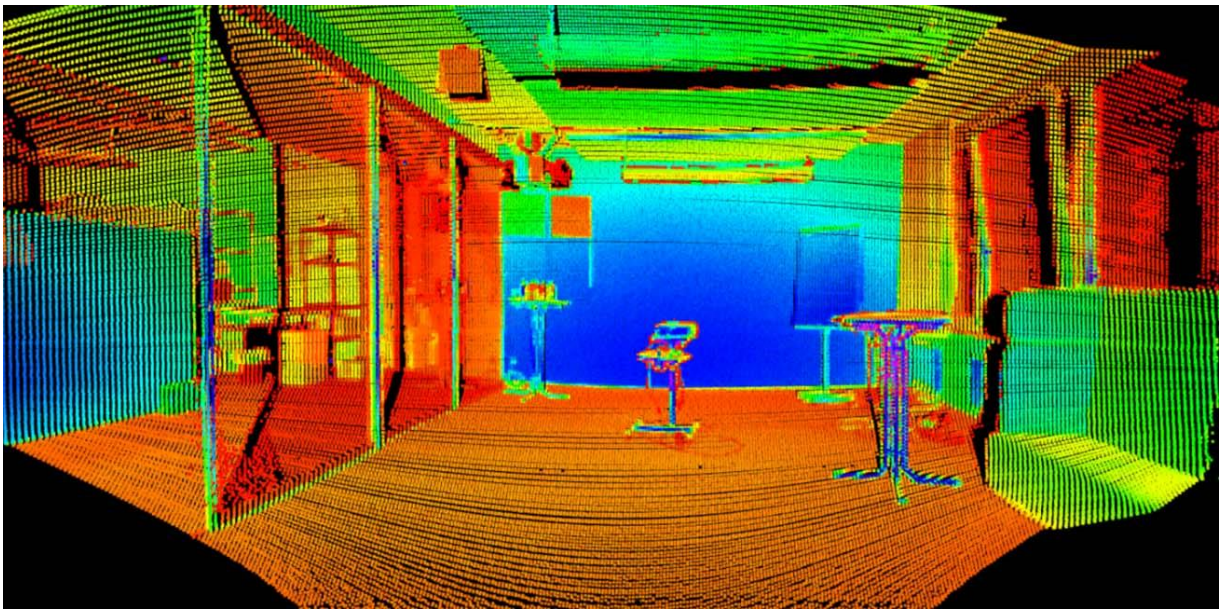

Рисунок 2 – Облако точек, полученное измерением устройства LiDAR

Лидар обладает следующими преимуществами:

- Надежность и детализация: благодаря большой частоте сканирования лидар может обнаруживать и отрисовывать даже мелкие обьекты на пути робота.
- Независимость от освещения: лидар одинаково эффективно работает как днем, так и ночью, поскольку использует собственный источник света.
- Гибкость цены: на рынке представлены как дорогостоящие, так и бюджетные модели, что позволяет подобрать подходящее устройство исходя из задач и бюджета проекта.

В то же время лидар обладает и рядом недостатков:

- Зависимость от погодных условий: при сильном дожде, снегопаде или в густом тумане лазерные лучи рассеиваются и поглощаются, что приводит к значительному сокращению дальности действия и появлению некорректных данных.
- Ограниченная дальность действия: даже дорогие модели имеют физические ограничения по дальности, что делает их непригодными для навигации на очень больших открытых пространствах без дополнительных систем.

Для стабилизации облака точек в LIO-SAM помимо лидара понадобится установить еще и инерциальный измерительный блок IMU (Inertial Measurement Unit). IMU - это электронный датчик, который измеряет и отслеживает параметры движения объекта, на котором он установлен. В данной системе IMU обеспечивает получение высокочастотных данных об ускорениях и угловых скоростях, что позволяет точно предсказывать движение робота между обновлениями данных с лидара и стабилизировать облако точек. Благодаря этому LIO-SAM передает навигационному стеку робота не только данные о всех окружающих объектах в виде плотного 3D облака точек, но и высокоточную оценку собственной позы.

Благодаря использованию LIO-SAM робот может не только составлять, но и непрерывно улучшать карту местности в реальном времени, используя продвинутый механизм SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). SLAM – набор методов, которые позволяют роботу, не имея изначально ни карты, ни точного знания о своём местоположении, исследовать окружающий мир. Для картографирования робот движется по заданному маршруту, а система в фоновом режиме производит сканирование, объединяет облака точек, корректирует накопленную ошибку и выдает оптимизированную карту. Пример детализированной 3D карты местности, построенной системой LIO-SAM, представлен на рисунке 3.

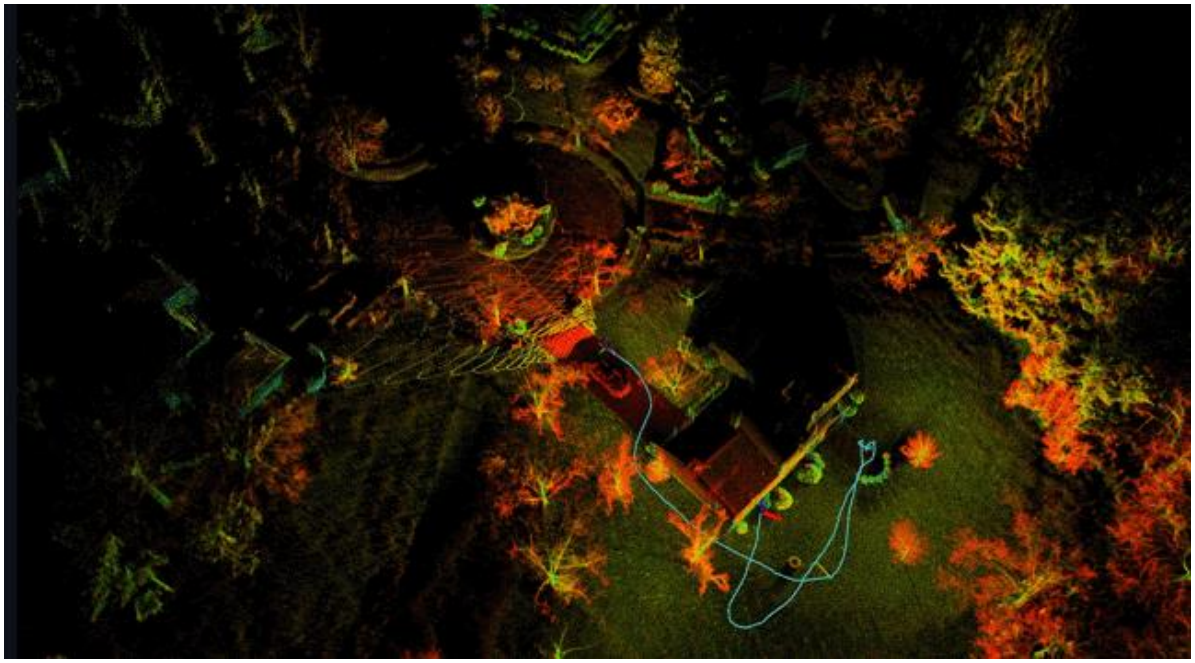

Рисунок 3 – Трехмерная карта местности, составленная с помощью 3D LiDAR и LIO-SAM

Таким образом, применение системы LIO-SAM позволяет создать робота, способного не только с высокой точностью строить маршруты до выбранной точки, но и создавать детализированные трехмерные карты местности в реальном времени. Данная система обеспечивает надежную локализацию и навигацию, опираясь на данные с лидара и IMU, что принципиально отличает

ее от подходов, использующих только лидарные данные. LIO-SAM в этой задаче предпочтительнее классических 2D SLAM-систем, благодаря своей устойчивости к дрейфу одометрии и способности работать в сложных трехмерных средах. Это позволяет использовать роботов, оснащенных LIO-SAM, для решения более сложных и требовательных задач автономной навигации, включая работу в условиях отсутствия GPS-сигнала и в динамически меняющихся внутренних пространствах.

Список литературы:

1. Сыркин И.С. Обзор аппаратной и программной архитектуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом// Россия молодая: Сб. матер. XIV ВсероссНПК молодых ученых с междунар. участием, Кемерово, 18-21 апреля 2023 года. - Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. - С. 211061-211065. EDN: DSJGBC

2. Системы управления автономного карьерного самосвала / И. С. Сыркин, Д. М. Дубинкин, И. Ф. Юнусов, А. Е. Ушаков // Россия молодая: Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 19-21 апреля 2022 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. - Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. - С. 420071-420078. EDN: CXHGOK

3. Порохин Ю.М., Коршунова Е.В. 2D лидар как источник данных для Navigation2: интеграция и применение // Сборник материалов VIII Международной научно-практическая конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте» 21 – 23 ноября 2024 г Том II. - Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2024. - С. 245-248.

4. Лидары (LiDAR, Light Detection and Ranging). [Электронный ресурс] // URL: https://www.tadviser.ru/a/427040 (дата обращения: 16.10.2024).

5. Типы и производители 3D-лидаров, представленных на рынке РФ [Электронный ресурс] // URL: https://www.npk-photonica.ru/info/reading/23153/ (дата обращения 21.10.204).

6. Tixiao Shan, Brendan Englot, Drew Meyers, Wei Wang, Carlo Ratti, and Daniela Rus LIO-SAM: Tightly coupled Lidar Inertial Odometry via Smoothing and Mapping // arXiv [Электронный ресурс] URL: https://arxiv.org/abs/2007.00258 (дата обращения: 20.11.2025).