

Сценарно-ориентированная совместная оптимизация положения LiDAR-сенсора и зеркального канала для максимизации информативности 3D-сканирования

Вишневский М. Р.¹

Научный руководитель – канд. ф.-м. наук, Фёдоров И. Ю.¹

¹НИТУ “МИСИС”

m1803104@edu.misis.ru

Введение

Развитие современных робототехнических комплексов и систем автономной навигации неразрывно связано с необходимостью формирования высокоточных плотных облаков точек. Механические LiDAR-сенсоры, являющиеся стандартом в отрасли, обладают существенными ограничениями: их разрешающая способность и статический паттерн сканирования неизбежно приводят к образованию "слепых зон" при наблюдении сцен со сложной геометрией. Попытки аппаратного решения данной проблемы развиваются в двух направлениях: использование активных твердотельных сенсоров, таких как MEMS или оптические фазированные решетки (OPA-LiDAR), и применение мультисенсорных комплексов. Массовое внедрение MEMS и OPA ограничено высокой стоимостью, сложностью производства и чувствительностью к внешним условиям [1]. Использование нескольких сенсоров кратно удорожает систему и требует сложной программной синхронизации данных. В качестве альтернативы исследуются методы пассивной оптики, где для создания дополнительного виртуального канала наблюдения применяются зеркала и призмы [2]. Существующие подходы в этой области в основном сосредоточены на аппаратной интеграции и ручной калибровке стационарно закрепленных зеркал относительно неподвижного сенсора [3]. Научная проблема заключается в отсутствии алгоритмических методов, позволяющих динамически рассчитывать оптимальное пространственное положение как самого лидара, так и зеркала для целенаправленного сканирования перекрытых областей (слепых зон). В связи с этим, разработка алгоритма сценарно-ориентированной совместной оптимизации конфигурации измерительной системы является актуальной задачей.

Основная часть

Суть предлагаемого решения заключается в создании адаптивного виртуального канала сканирования с помощью пассивного оптического элемента (зеркала). Оно перенаправляет часть лазерных импульсов, позволяя основному сенсору фиксировать объекты и поверхности, находящиеся вне зоны его прямой видимости. В данной работе предлагается алгоритм комплексной совместной пространственной оптимизации всей системы.

Процесс оптимизации носит сценарно-ориентированный характер. На первом этапе алгоритм анализирует данные о топологии сканируемой сцены. На основе этой геометрической информации программно выделяются целевые области, недоступные для сканирования из-за особенностей устройства механического лидара. Далее, опираясь на математическую модель зеркального отражения, система осуществляет виртуальную трассировку лучей для множества возможных вариантов физического размещения оборудования.

В качестве изменяемых переменных в алгоритме выступают пространственные координаты самого LiDAR-сенсора, а также углы ориентации и расстояние до плоскости зеркала. Целевой функцией оптимизации является максимизация количества полезных пересечений измерительных лучей с поверхностью. Алгоритм итеративно подбирает такую конфигурацию установки, при которой отраженные лучи наиболее эффективно сканируют заданную область. Данный подход представляет собой оригинальный и экономичный метод повышения качества 3D-реконструкции, позволяя добиться информативности и отсутствия слепых зон, сопоставимых с применением дорогих мультисенсорных комплексов.

Выводы

Предложенный метод совместной пространственной оптимизации позволяет эффективно компенсировать разреженность статичного паттерна сканирования механических LiDAR-систем. Практическое применение данного алгоритма обеспечивает существенное повышение однородности и плотности итогового облака точек без конструктивного вмешательства в базовый сенсор. Внедрение разработанного подхода целесообразно на этапе проектирования измерительных комплексов: алгоритм может использоваться как программный инструмент для предварительного расчета наилучшей компоновки оборудования (сенсора и зеркал) перед началом измерений. Испытания и валидацию метода планируется проводить в симуляционных робототехнических средах (в частности Gazebo) с последующим переносом на реальные платформы.

Список использованных источников

1. Xu W., Yuan Q., Yang Y., Lu L., Chen J., Zhou L. Progress and prospects for LiDAR-oriented optical phased arrays based on photonic integrated circuits // npj Nanophotonics. 2025. Vol. 2. Art. 14. <https://doi.org/10.1038/s44310-025-00059-4>.
2. Pogačnik M., Munih M. Towards a multi-perspective time of flight laser ranging device based on mirrors and prisms // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, no. 14. Art. 7121. <https://doi.org/10.3390/app12147121>.
3. Pełka M., Będkowski J. Calibration of planar reflectors reshaping LiDAR's field of view // Sensors. 2021. Vol. 21, no. 19. Art. 6501. <https://doi.org/10.3390/s21196501>.