



Лидарные технологии: современное состояние и перспективы

Е. П. Кожина студент, liza.kozhina.99@mail.ru

Институт физики, технологий и информационных систем, Московский педагогический государственный университет,
www.mpgu.su, Москва, Россия

Лидарные технологии зондирования удаленных объектов, основанные на явлениях рассеяния и поглощения света в прозрачных и полупрозрачных средах, развиваются в течение нескольких десятилетий. Современные лидары стали основой множества инструментов машинного видения, картографирования, диагностики атмосферы и удаленных объектов различной природы. В заметке представлен краткий обзор некоторых актуальных направлений использования лидарных технологий, выполненный по материалам открытой печати.

Ключевые слова: лидары, машинное зрение, дистанционная диагностика

Статья получена: 18.07.2019. Принята к публикации: 09.08.2019.

Lidar Technologies, State of the Art and Prospects

E. P. Kozhina, liza.kozhina.99@mail.ru

Institute of Physics, Technology and Information Systems, Moscow State Pedagogical University, Moscow State Pedagogical University

Lidar technologies for sensing distant objects, based on the phenomena of light scattering and absorption in transparent and translucent media, have been developing for several decades. Nowadays, lidars are a key element of robotic devices, autonomous cars, control and navigation systems for machine vision tools, mapping, diagnostics of the atmosphere and remote objects of various nature. The note provides a brief overview of some relevant areas of the use of lidar technologies, made on the basis of open press materials.

Key words: lidars, machine vision, remote diagnostics

Received: 18.07.2019. Accepted: 09.08. 2019.

Лидар – акроним LIDAR, происходящий от английского обозначения Light Detection and Ranging. Ныне этим акронимом обозначают технологию получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения, отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. Среди основных актуальных направлений использования лидаров можно

отметить машинное видение (где сканирующие системы формируют цифровое изображение пространства / объекта), «атмосферные» лидары (которые при зондировании отражающих целей позволяют анализировать свойства и химический состав прозрачной / полупрозрачной среды, отделяющей объект от измерительного комплекса) и динамические доплеровские лидары (позволяющие также анализировать движение атмосферных потоков). Качественно

новые возможности лидары приобрели с появлением лазерных источников света, в связи с чем в современной специальной литературе лидарные технологии называют иногда технологиями трехмерного лазерного сканирования. В настоящее время лидары активно используются для создания карт высокого разрешения с применением в геодезии, археологии, географии, геологии, геоморфологии, сейсмологии, планетологии, лесном хозяйстве, физике атмосферы, лазерной альтиметрии [1-3]. Одним из прорывных направлений является развитие лазерных систем машинного видения, являющихся ключевым элементом робототехнических устройств (в частности, автономных автомобилей), где они используются для управления и навигации.

Наблюдение и изучение топологии земной поверхности претерпевают революционные изменения за счет увеличения пространственного разрешения, обеспечивающего скорост-

ными лидарными технологиями обнаружения и измерения расстояний. Лидарные технологии генерируют воспроизводимую точную трехмерную картину, характеризующую поверхность Земли, позволяя одновременно анализировать растительность, человеческую инфраструктуру с учетом при этом рельефа земной поверхности, включая почву, русла рек, снег / лед.

Лидары могут эксплуатироваться с использованием различных платформ, таких как космические аппараты, самолеты и вертолеты, беспилотные летательные аппараты, наземные транспортные средства и штативы, но принцип работы, вне зависимости от носителей, одинаков. Сбор данных и наблюдения могут проводиться в масштабе более чем 1000 км^2 и с пространственным разрешением, способным захватывать мелкомасштабные процессы ($<10 \text{ см}$).

Принцип действия лидара заключается в следующем: направленный луч источника излу-

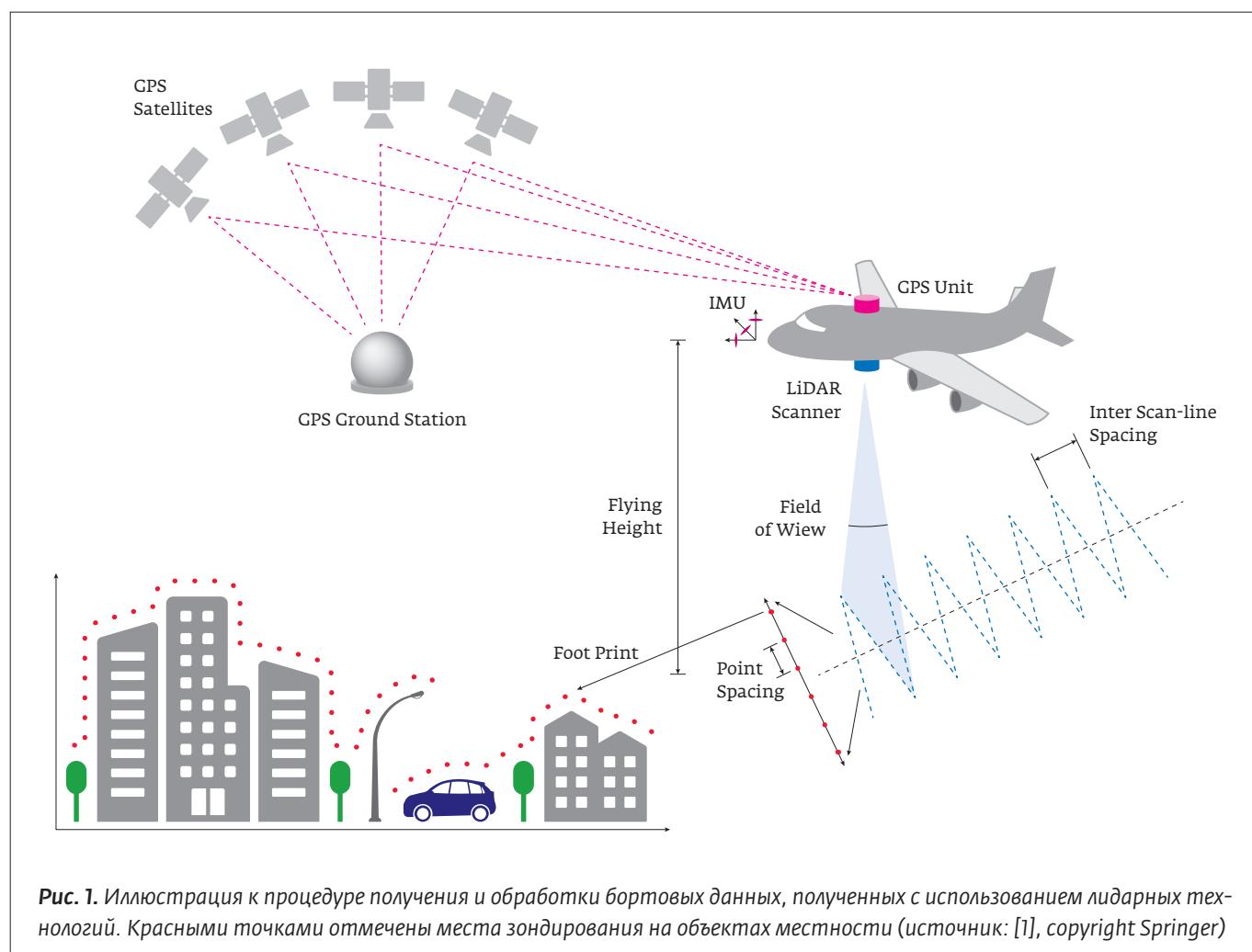


Рис. 1. Иллюстрация к процедуре получения и обработки бортовых данных, полученных с использованием лидарных технологий. Красными точками отмечены места зондирования на объектах местности (источник: [1], copyright Springer)

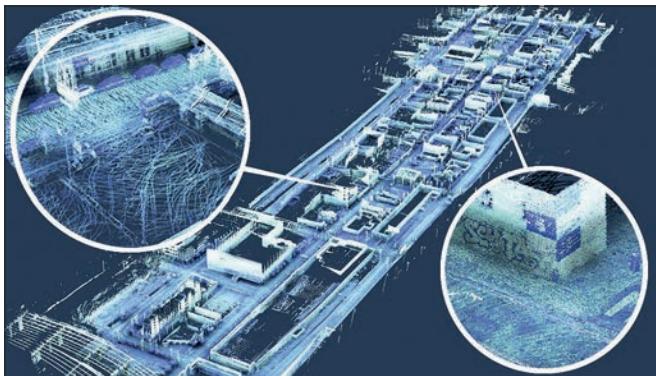


Рис. 2. Пример восстановленного изображения местности, полученного с использованием современных лидарных систем (источник: сайт производителя «Velodyne Lidar» <https://velodynelidar.com>)

чения, исходящий от передатчика, отражается от целей, возвращается к источнику и улавливается светочувствительным (например, полупроводниковым) приемником, при этом время отклика отображает расстояние до цели. В отличие от радиоволн, эффективно отражающихся только от достаточно крупных металлических целей, световые волны подвержены рассеиванию в любых средах, в том числе в воздухе, поэтому возможно не только определять расстояние до непрозрачных (поглощающих / отражающих свет) целей, но и фиксировать спектроскопические параметры рассеивания света в полупрозрачных средах. Возвращающийся отраженный сигнал проходит через ту же рассеивающую среду, что и луч от источника, и подвергается вторичному рассеиванию, из-за чего восстановление действительных параметров распределенной оптической среды представляет собой достаточно сложную задачу.

Существует несколько режимов работы лидара. В случае линейного режима, оперируемого на одной длине волн, любые два последовательных импульса разделены достаточным промежутком времени, поэтому следующий импульс передается только после получения предыдущего, и частота следования импульсов составляет порядка 400 кГц. Как правило, в работе лидара используются инфракрасные импульсы, поскольку их отражение от большинства топографических объектов оказывается достаточно значительным, чтобы зарегистрировать отклик на приемнике и вычислить координату цели. Также существует режим нескольких импульсов, при котором второй лазерный импульс излу-

чается до получения обратного сигнала от предыдущего импульса, что приводит к удвоению частоты импульсов на любой заданной высоте, увеличивая скорость передачи сигнала, плотность данных и точность классификации.

Наборы топографических данных высокого разрешения, полученные при помощи лидара, внесли значительный вклад в количественную оценку геоморфологических изменений, выявление особенностей рельефа и понимание экогидрологически опосредованных процессов в разнообразных масштабах. Эти достижения позволили протестировать теоретические геоморфологические модели, осуществить распознавание образов и процессов, а также выявить нелинейную модель местности (например, холмистость), что, используя предыдущие методы съемки, представлялось невозможным. Лидарная технология была полезна при изучении геоморфологической реакции на экстремальные явления, такие как пожар и штормы, деятельность человека и прошлые климатические и тектонические воздействия [4].

Многопараметрические лидарные данные позволяют определять типы растений, оценивать лесную биомассу и плотность растительности, что демонстрирует необходимость включения экологических процессов для правильного моделирования топографии. Лидары также продемонстрировали свою полезность в обнаружении и оценке изменений окружающей среды. Отображение корректировок ландшафта во времени обеспечило всестороннее измерение глубины и абляции снежного покрова, анализ сейсмических смещений после землетрясений, изменений скоростей миграции, эрозии, изменений в биомассе. Также данные временного ряда позволяют оценить изменения в состоянии леса с течением времени и показывают потенциал для мониторинга динамических изменений морфологии русла рек и речного потока.

Улучшенное представление рельефа помогло охарактеризовать гистерезисные взаимосвязи между водохранилищами и участками в крупных водно-болотных комплексах, улучшенное картирование вдоль речных каналов для параметризации моделей затопления паводками. Данные лидара предоставляют вертикальную информацию, которая позволяет напрямую измерять такие атрибуты леса, как высота дерева и структура кроны, которые можно использовать для моделирования объема кроны, биомассы и пропускания солнечного излучения [5].



Важную роль играет и связь со спутниковым дистанционным зондированием. Высокое пространственное разрешение лидаров дополняет и проверяет данные, полученные при помощи оптических и радиолокационных спутниковых наблюдений. Также спутники могут быть использованы в качестве платформ для эксплуатации лидаров. Данные, полученные таким способом, использовались для оценки ледниковых, вечной мерзлоты и снежных покровов, временных изменений биомассы в континентальных лесах [6].

Наконец, лидары востребованы в системах автоматизации транспорта, где они используются для сбора информации о дороге и передаются в компьютерную бортовую систему транспортного средства для принятия решения. Например, весьма легко могут быть зарегистрированы и распознаны элементы дорожной разметки и знаки дорожного движения. В настоящее время ряд автопроизводителей уже интегрировали в автомобили лидарные системы адаптивного круиз-контроля, хотя, справедливо ради, следует отметить, что некоторые ведущие производители (Tesla, Nissan) полагают, что автономные автомобили могут быть построены без использования лидарных технологий [7].

Таким образом, лидарные технологии являются быстро растущим сегментом современного производства в самых разнообразных приложениях. Дальнейшие перспективы развития этого направления связаны как с разработкой оптической и оптико-электронной инструментальной базы, так и с методами скоростной обработки больших баз данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lohani B., Ghosh S. Airborne LiDAR Technology: A Review of Data Collection and Processing Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*. 2017; 87 (4): 567–579.
2. Harpold A. A. et al. Laser vision: lidar as a transformative tool to advance critical zone science. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2015; 19 (6): 2881–2897.
3. LiDAR Data 50 Applications and Uses – It is important (<https://grindgis.com/data/lidar-data-50-applications>). 2015.
4. West N., Kirby E., Bierman P., Clarke B. A. Aspect-dependent variations in regolith creep revealed by meteoric 10Be. *Geology*. 2014; 42 (6): 507–510.
5. Essery R., Bunting P., Rowlands A., Rutter N., Hardy J., Melloh R., Link T., Marks D., Pomeroy J. Radiative Transfer Modeling of a Coniferous Canopy Characterized by Airborne Remote Sensing. *Journal of Hydrometeorology*. 2008; 9 (2): 228–241.
6. Mora B., Wulder M. A., Hobart G. W., White J. C., Bater C. W., Gougeon F. A., Varhola A., Coops N. C. Forest inventory stand height estimates from very high spatial resolution satellite imagery calibrated with lidar plots. *International Journal of Remote Sensing*. 2013; 34 (12): 4406–4424.
7. Manners D. Nissan follows Tesla in ruling out Lidar for autonomous EVs. URL: ElectronicsWeekly.com. 16th May 2019.



АВЕСТА

ЛАЗЕРЫ И ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Фемтосекундные лазерные системы

- Параметрические генераторы 750-4200 нм
- Волоконные лазеры на 780, 1030-1064, 1560 нм
- Лазеры со средней мощностью до 50 Вт
- Оптический синтезатор частоты ("комб-генератор")
- Титан-сапфировые генераторы от 6 до 100 фс
- Системы с пиковой мощностью до 10 ТВт



Диагностика и компоненты

- Фотоприемники с усилителем, лавинные
- Изоляторы Фарадея 400-1250 нм, до 60 дБ
- Селекторы импульсов на 250-2700 нм до 2 МГц
- Измерители длительности импульсов, SPIDER
- PLL электроника для синхронизации
- ТГц-генераторы до 1 мДж в импульсе



Спектрометры

- Компактные универсальные модели (190-1100 нм)
- ИК сканирующие спектрометры (500-3450 нм)
- Подключение по USB, собственное ПО



Оптомеханика

- Полный набор готовых элементов для создания оптических стендов любой сложности



www.avesta.ru

fs@avesta.ru

тел.: (495) 967-94-73; ООО "Авеста-Проект",
ул. Физическая, д. 11, г. Троицк, г. Москва.