

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЙ ИАГ: Nd^{3+} / ИАГ: Cr^{4+} - ЛАЗЕР ДЛЯ LIDAR-СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ВОЖДЕНИЯ

Ершков М.Н., Солохин С.А., Шепелев А.Е., Миронов А.А.

*Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева,
Ковров*

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство, автономное вождение, компьютерное зрение, лазерный лидар, мультиспектральное излучение, композитный ИАГ: Nd^{3+} / ИАГ: Cr^{4+} -лазер.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности построения интеллектуальных систем управления беспилотными транспортными средствами на основе компьютерного зрения и применения лазерных лидаров. Анализируется работа систем управления автономным вождением в сложных недетерминированных условиях. Рассматривается возможность применения в лазерных лидарах мультиспектрального твердотельного лазера на основе композитного керамического ИАГ: Nd^{3+} / ИАГ: Cr^{4+} -элемента.

PROSPECTIVE MULTISPECTRAL YAG: Nd^{3+} / YAG: Cr^{4+} -LASER FOR LIDAR AUTONOMOUS DRIVING SYSTEMS

Ershkov M.N., Solokhin S.A., Shepelev A.E., Mironov A.A.

Kovrov state technological academy named after V.A. Degtyarev, Kovrov

Keywords: self-driving vehicle, autonomous driving, computer vision, laser lidar, multispectral radiation, composite YAG: Nd^{3+} / YAG: Cr^{4+} -laser.

Abstract. The article discusses the features of building intelligent control systems for self-driving vehicles based on computer vision and the use of laser lidars. The work of autonomous driving control systems in complex non-deterministic conditions is analyzed. The possibility of using of a multispectral solid-state laser based on a composite ceramic YAG: Nd^{3+} / YAG: Cr^{4+} -element is being considered.

Разработка и массовое внедрение беспилотных транспортных средств (БТС) в настоящее время является одной из приоритетных задач развития отечественной и мировой транспортной индустрии. Успешное решение данной задачи позволит в ближайшем будущем существенно снизить транспортные расходы, повысить качество транспортных услуг, улучшить экологическую ситуацию в мегаполисах и значительно повысить безопасность движения [1].

Автономное движение БТС происходит благодаря применению интеллектуальной системы управления (ИСУ), состоящей из множества сенсоров, датчиков, приводов, работа которых управляется с помощью специализированного программного обеспечения. Каждый из элементов ИСУ выполняет свою ответственную функцию, что позволяет БТС точно воспринимать окружающее пространство, определять местоположение других транспортных средств, пешеходов, светофоров, дорожных знаков, и на основе полученной информации принимать решение относительно сценария дальнейшего движения.

В настоящее время компании-разработчики используют два основных подхода для построения ИСУ БТС [2]: на основе технологий CV («Computer Vision», компьютерное или техническое зрение) или с использованием технологий LiDAR («Light Detection and Ranging», обнаружение и определение дальности с помощью света). CV-системы основаны на применении аппаратного (видеокамеры и радары) и программного обеспечения. Данные с видеокамер и радаров обрабатываются с помощью компьютерного зрения, машинного обучения и искусственного интеллекта, что позволяет обнаружить и распознать объекты на изображении. Основными достоинствами таких систем являются: надежное распознавание образов (дорожные знаки, светофоры и т.п.); не сложное конструктивное исполнение; сравнительно низкая стоимость. К недостаткам можно отнести зависимость качества «картинки» от погодных условий, а также значительные ошибки при определении координат наблюдаемых объектов. LiDAR-системы используют лазерное 3D-сканирование, по результатам которого окружающее пространство предстает в виде трехмерного «облака» точек, что позволяет получить информацию об объектах и их координатах. Достоинствами таких систем являются: высокая точность и быстродействие; сравнительно слабое влияние погодных условий. Недостатками являются высокая стоимость и технические сложности при распознавании объектов. Вполне очевидно, что системы управления движением в перспективных БТС будут основаны на совместном использовании CV и LiDAR: лазерный лидар сможет обеспечивать точные измерения координат, а компьютерное зрение – распознавать объекты и интерпретировать дорожную обстановку.

Отдельную проблему представляет управление БТС в сложных недетерминированных условиях, связанных с интенсивным движением транспорта в условиях плотной городской застройки, при яркой солнечной засветке или низкой освещенности в ночное время, в сложных погодных условиях (туман, дождь и т.п.). В таких условиях эффективность работы CV-систем резко снижается, вплоть до критического уровня, при котором движение БТС невозможно. LiDAR-системы более устойчивы к таким условиям [3], т.к. работа лидара определяется в первую очередь параметрами лазерного источника и приемника излучения, а также отражательными свойствами объектов. Лазерное излучение современных лидаров сравнительно легко проходит сквозь слабый туман, небольшой дождь, для него не являются помехой яркий солнечный свет или свет фар проезжающих мимо автомобилей.

Однако в сильный дождь или туман инфракрасное (ИК) излучение лидаров практически полностью поглощается водой, что резко снижает эффективность их работы. Решение данной проблемы заключается в комбинированном использовании ИК-излучения с длиной волны 0.9-1.0 мкм и видимого излучения с длиной волны в области 0.45-0.5 мкм, которое намного слабее поглощается водой [4]. Практическая реализация такого мультиспектрального лидара может быть выполнена, например, на основе компактного твердотельного лазера, представленного в [5]. Особенностью данного лазера является применение композитного ИАГ: Nd^{3+} / ИАГ: Cr^{4+} элемента, одновременно выполняющего функции активной среды и пассивного лазерного затвора. Применяемый элемент

выполнен из отечественной лазерной керамики, что при использовании диодной накачки мощностью до 20 Вт на длине волны 0.808 мкм позволяет получить эффективную лазерную генерацию на длине волны 1.06 мкм со средней мощностью излучения 4.2 Вт (дифференциальный КПД – более 28%, общий КПД – 24%). Благодаря применению ИАГ: Cr^{4+} в качестве пассивного оптического затвора длительность генерируемых с частотой 60 кГц лазерных импульсов составляет менее 5 нс. Полученные параметры излучения оказываются перспективными для генерации лазерного излучения в видимой области оптического спектра, попадающего в «окно прозрачности» паров воды. Так, использование методов нелинейно-оптического преобразования излучения позволяет получить эффективную лазерную генерацию на длине волны 0.532 мкм. Таким образом, на базе одного компактного твердотельного излучателя может быть реализована одновременная генерация лазерного излучения на длинах волн 1.06 мкм и 0.532 мкм. Оптимизация соответствующих параметров излучателя позволяет обеспечить равенство энергетических параметров для ИК и видимого излучений, что позволит существенно улучшить эффективность работы лазерного лидара при движении БТС в сложных недетерминированных условиях.

Список литературы

1. Андреев Н.А. Перспективы применения беспилотного транспорта в России // Отходы и ресурсы. – 2023. – Т.10, №1. – С. 1-10. – DOI: 10.15862/42ECOR123.
2. Транспорт в деталях. Беспилотные технологии на земле, воде и в воздухе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gtlk.ru/press_room/drone/#slide1.
3. Лидары в беспилотном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orsyst.ru/blog/lidar>.
4. Hale G.M., Query M.R. Optical constants of water in the 200 nm to 200 μm wavelength region // Applied Optics. 1973, no. 12, pp. 555-563.
5. Ершков М.Н., Шепелев А.Е., Солохин С.А. Исследование генерации компактного лазера с композитным ИАГ: Nd^{3+} / ИАГ: Cr^{4+} элементом // XIV Международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сборник научных трудов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2025. – С. 185-186.

Сведения об авторах:

Ершков Михаил Николаевич – старший преподаватель;

Солохин Сергей Александрович – к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой;

Шепелев Александр Евгеньевич – младший научный сотрудник;

Миронов Алексей Алексеевич – студент.