

на диске позволяет увеличивать их количество без применения дополнительных камер и фотоприемников. Увеличением количества светофильтров можно повысить точность идентификации объектов при мульти-спектральной съемке. Макет позволяет собрать информацию о мультиспектральных изображениях разных объектов, которую можно применить для обучения нейросетей. Основные принципы работы данного макета, а также

внедрение нейронных сетей для анализа мультиспектрального изображения лягут в основу создания авторами быстродействующей системы мультиспектрального видения.

Литература

1. Гиперспектральное дистанционное зондирование в геологическом картировании / под ред. Г.Г. Райкунова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 136 с.

УДК 681.785

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА НА ЗЕРКАЛЬНО-ПРИЗМЕННОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Зарипов М.Р.¹, Алексеев В.А.²

¹Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук
Ижевск, Российская Федерация

²Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова
Ижевск, Российская Федерация

Увеличение эффективности и расширение области применения автономных лазерных систем специального назначения, в частности, медицинских лазерных установок, лазерных систем связи как беспроводной, так и волоконно-оптической, мобильных систем дистанционного лазерного зондирования подразумевает повышение выходной мощности и выходной энергии импульса лазерного излучения.

Таким образом, возникает проблема повышения выходной мощности лазерных источников без увеличения энергии внешнего источника электропитания, без включения в систему дополнительных источников лазерного излучения или без использования оптических усилителей.

Задача повышения выходной мощности наиболее актуальна для систем, построенных на основе импульсных лазерных источников, пиковая мощность импульса излучения которых определяет такие основные характеристики системы, как степень воздействия лазерного излучения на исследуемый объект и дальность распространения лазерного излучения в различных средах.

К настоящему времени отмеченная задача может быть решена за счет применения методов компрессии лазерных импульсов [1], оптических усилителей [2], а также различных способов некогерентного [3] и когерентного [4] суммирования лазерных пучков. Однако данные схемные решения связаны с необходимостью увеличения числа лазерных источников, повышения энергии от внешнего источника питания, а также с ухудшением массогабаритных характеристик разрабатываемых лазерных изделий, что отрицательно сказывается на их автономности.

Таких недостатков можно избежать за счет применения способов синхронного суммирования лазерных импульсов [5, 6], так как они пред-

полагают использование в составе своих схем одного лазерного источника и не требуют наращивания энергии внешнего питания. Тем не менее, устройства синхронного суммирования лазерных импульсов, описанные в работах [5, 6], выполнены на основе волоконно-оптических линий задержки. Очевидно, что такое построение данных систем приводит к необходимости строгого подбора применяемых в них лазерных источников, длина волны λ которых должна лежать в пределах окон прозрачности кварцевого стекла 0,85, 1,3 и 1,55 мкм волоконных световодов.

Однако применение лазерных источников в системах специального назначения ограничено не только ближним инфракрасным диапазоном. Использование устройств синхронного суммирования лазерных импульсов в подобных системах позволит повысить их быстродействие и эффективность, а также расширить пределы их применения. Таким образом, возникает задача разработки способа, обеспечивающего увеличение выходной мощности лазерных источников в широкой спектральной области оптического диапазона.

Авторами настоящего сообщения для решения поставленной задачи предлагается рассмотреть возможность применения схемы с кольцевой зеркально-призменной линией задержки, которая обеспечивает синхронное суммирование лазерных пучков за счет их полного внутреннего отражения в ней (рисунок 1).

Данная система является модификацией устройства с кольцевой волоконно-оптической линией задержки, предложенного ранее авторами в [6]. Поэтому ее действие также заключается в последовательном наложении импульсов лазерного излучения, поступающих на вход оптической системы, друг на друга синхронно и пространственно. То есть должно обеспечиваться наложение начала импульса, поступившего на

вход системы, на начало импульса, совершившего обход в кольцевой оптической системе, кроме того, лазерный пучок на входе в систему должен быть геометрически идентичен лазерному пучку, совершившему обход в системе. При этом пучок, совершивший обход, накапливает в себе за счет суммирования энергию излучения с каждой циркуляцией в кольцевой линии.

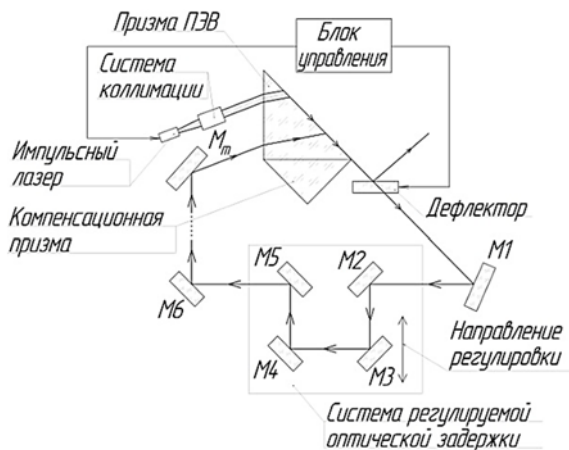


Рисунок 1 – Схема кольцевой зеркально-призменной системы синхронного суммирования и накопления лазерных импульсов

Система на рисунке 1 действует следующим образом. Импульсный лазер формирует пучок оптического излучения с частотой следования импульсов f . Такой исходный пучок каждого лазерного импульса далее проходит через систему коллимации, значительно снижающую его расходимость, что обеспечивает практически постоянную ширину пучка в результате его многократных обходов в рассматриваемом на рисунок 1 устройстве. Затем пучок поступает на входную грань призмы ПВО под таким углом θ , чтобы после преломления на входной грани он мог попасть на противоположную отражающую грань призмы (далее – грань ПВО) под критическим углом полного внутреннего отражения и распространяться вдоль нее. Затем такой пучок ПВО падает нормально на выходную грань компенсационной призмы и выходит из призменной склейки, не меняя таким образом своего направления. Дальнейший обход пучка обеспечивается за счет внешних оптических элементов – системы наклонных зеркал $M1...M_m$, количество m которых определяется требуемым временем оптической задержки, а также требованиями к габаритным размерам оптической системы. При этом последнее зеркало M_m установлено под таким углом, чтобы циркулирующий пучок, совершивший полный обход в кольцевой схеме поступил на входную грань под тем же самым углом, что и входной пучок для обеспечения формирования пучка ПВО. В результате в точке синхронизации на грани ПВО, куда поступают исход-

ный пучок очередного импульса лазера и циркулирующий пучок, совершивший обход в зеркально-призменной линии задержки, происходит их синхронное суммирование. При этом данный процесс продолжается до определенного количества оборотов N , зависящего от величины потерь в рассматриваемой системе. Требуемое время распространения циркулирующего пучка при обходе, обеспечивающее синхронное суммирование пучков, подстраивается с помощью регулируемой системы оптической задержки, состоящей из зеркал $M2...M5$, количество которых может отличаться от четырех и также зависит от требуемого времени задержки и компоновочной схемы всего устройства. Блок управления, задает частоту и длительность импульсов излучения лазерного источника. Также данный блок осуществляет счет импульсов лазера до определенного количества N , соответствующего числу обходов в системе, и направляет сигнал на дефлектор, который при этом переключается на отражение и выводит импульс лазерного излучения с энергией W_N , соответствующей сумме энергий W_0 импульсов, поступавших от лазерного источника, с учетом потерь в системе σ . В результате этого на выходе из системы формируются лазерные импульсы высокой энергии с частотой следования, уменьшившейся в N раз, что в свою очередь соответствует увеличению энергетической эффективности подключенного к системе лазерного источника.

С учетом предположения, что лазерные пучки в кольцевой линии задержки после полного внутреннего отражения распространяются вдоль грани ПВО без потерь, схема на рисунке 1 позволяет практически в 12 раз повысить пиковую мощность и энергию исходных импульсов лазера в широком спектральном спектральном диапазоне. Однако при падении пучка излучения под критическим углом ПВО и его распространении вдоль грани возникают значительные потери, что приведет к снижению пиковой мощности и энергии исходного импульса на выходе из системы практически в 16 раз.

Очевидно, что использование на практике описываемой схемы для повышения энергетической эффективности лазерного источника, присоединенного к ней, невозможно.

Тем не менее, рассмотренное авторами использование явления полного внутреннего отражения может найти свое применение для повышения энергетической эффективности автономных лазерных систем за счет модификации приведенной на рисунке 1 схемы. Ее улучшение, к примеру, возможно путем замены призмы ПВО на аналогичную призму, изготовленную из материала с переменным показателем преломления или на другие градиентные оптические элементы (стержневые линзы, селфоки).

Литература

1. Mourou G.A., Fisch N.J., Malkin V.M., Toroker Z., Khazanov E.A., Sergeev A.M., Tajima T., Le Garrec B. Exawatt-Zettawatt pulse generation and applications. *Optics Communications*, 2012, vol. 285, pp. 720–724. DOI: 10.1016/j.optcom.2011.10.089.
2. Obronov I.V. et al. Solid-state Yb: YAG amplifier pumped by a single-mode laser at 920 nm. *Quantum Electronics*, 2018, 48 (3): 212, pp. 212–214. DOI: 10.1070/QEL16605.
3. Motes A. Laser beam combining. Rio-Rancho: AM Photonics, 2015, 132 p.
4. Brignon A. Coherent laser beam combining. Weinheim: Wiley-VCH, 2013, 509 p.
5. Alekseev V.A., Perminov A.S., and Yuran S.I. Increasing the peak power of a pulsed laser source using optical delay lines. *J. Opt. Technol.*, 2018, vol. 85, iss. 12, pp. 746–751. DOI: 10.1364/JOT.85.000746.
6. Алексеев В.А., Зарипов М.Р., Перминов А.С., Ситникова Е.А., Усольцев В.П., Юран С.И. Повышение пиковой мощности импульсного источника лазерного излучения с применением кольцевой волоконной линии задержки. Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 151–159. DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-2-151-159.

УДК 681.7

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТРИЧНЫХ МОДУЛЕЙ КОРОТКОВОЛНОВОГО ИК-ДИАПАЗОНА ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Киль И.А., Шилин А.А., Погорелов М.Г.

*Тульский государственный университет
Тула, Российская Федерация*

В статье проведён обзор современных иностранных матричных приёмников излучения коротковолнового ИК-диапазона и их характеристик, определены преимущества коротковолнового ИК-диапазона для его применения в составе ОЭС.

Ключевые слова: оптико-электронные системы, матричный приёмник излучения, коротковолновый ИК-диапазон.

Перспективным направлением развития оптико-электронных систем (ОЭС) является включение в их состав приборов на базе матричных модулей коротковолнового инфракрасного диапазона длин волн (1–2,5 мкм). Работа в коротковолновом ИК-диапазоне возможна из-за следующих факторов.

1. Свечения ночного неба, вызванного различными процессами в верхних слоях атмосферы, в частности, люминесценцией компонентов воздуха под действием космических лучей, метеоритов, атмосферных электрических разрядов и естественной радиации, а также хемилюминесценцией, связанной в основном с реакциями, идущими между атомами кислорода, водорода, натрия, углекислого газа, озона, воды, окислов азота и гидроксильными радикалами [1].

2. Свечения сильно нагретых тел (несколько сотен градусов), согласно закону Планка.

Это позволяет ОЭС на базе матричных модулей коротковолнового инфракрасного диапазона длин волн работать круглосуточно, а меньшая длина волны увеличивает их дифракционный предел разрешения (по сравнению с средне- и длинноволновыми ИК-диапазонами). Однако, как показал анализ иностранных серийно выпускаемых матричных модулей коротковолнового диапазона (таблицы 1–3), существующий размер пикселя в 10–15 раз превосходит рабочую длину

волны. Это не позволяет полностью использовать все преимущества данного диапазона и создать круглосуточную ОЭС с разрешением телевизионных систем.

Кроме того, свечение ночного неба обладает невысокой энергетикой, и для работы ОЭС в тёмное время суток требуется применение светосильной оптики, что значительно увеличивает массогабаритные параметры прибора и сложность, а, следовательно, и стоимость, объектива.

Однако, следующие преимущества коротковолнового ИК-диапазона дают обоснование на его применение в составе ОЭС:

- возможность наблюдения в условиях пониженной видимости – пыли, тумана, дыма, дождя;
- возможность обнаруживать лазерные сигналы для задач целеуказания объектов и измерения дальности до них;
- возможность наблюдения фоно-целевой обстановки в тёмное время суток;
- уменьшение влияния солнечных бликов от водных поверхностей;
- повышение помехозащищённости работы ОЭС – в качестве дополнительного информационного канала.

В состав современных матричных модулей коротковолнового инфракрасного диапазона длин волн обычно входят:

- матрица фоточувствительных элементов, которая преобразует принятое излучение фоно-целевой обстановки в электрические сигналы,
- мультиплексор, который считывает электрические сигналы с матрицы с требуемой частотой и производит их первичную обработку,
- электронные платы, обеспечивающие обработку сигналов с мультиплексора, которые реализуют алгоритмы улучшения изображения и формируют видеосигнал, поступающий в аппа-