УДК 621.373.826

ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПИРОМЕТРИЧЕСКОЕОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Белов А.А., Попсуй С.П., Швецов И.В.

ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», Великий Новгород, e-mail: siv-62@mail.ru

Рассматривается система, реализующая способ, который включает подсветку атмосферы лазерным излучением, прием отраженного излучения и использование вычислительной системы. Сканирование атмосферы в 3-мерном пространстве осуществляют с помощью управляемого сканирующего лазера. В статье сформулированы основные критерии выбора контролируемых средствами обнаружения параметров, которые можно использовать при структурном синтезе системы или разработке устройств обнаружения. Применение такой схемы позволяет сократить число неопределенных параметров сигнала. Летательные объекты или турбулентные потоки отклоняют луч когерентного источника света в пространстве при турбулентности или выбросе топлива в атмосферу. Отклонение луча лазерного источника света контролируют телеметрическим устройством. Выявлены проблемы и задачи, требующие дальнейшего совершенствования методики. Технический результат – повышение вероятности обнаружения объектов и повышение точности измерения пространственных координат.

Ключевые слова: лазер, лазерное сканирование, объект, атмосфера

VISUAL ATBOPTICAL CONTROL OF LASER SCANNING THE ATMOSPHERE AND DEFINITIONS PYROMETER SURFACE TEMPERATURE

Belov A.A., Popsui S.P., Shvetsov I.V.

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Vocational Education «Yaroslav-the-Wise Novgorod State University», Novgorod State University after Yaroslav the Wise, Veliky Novgorod, e-mail: siv-62@mail.ru

A systemimplementing themethod, which includeslightingatmospherelaser, receiving reflected lightand usinga computer system. Scanningthe atmospherein a 3-dimensional space is carried outthrough controlledscanninglaser. In article the basic criteria of a choice of parameters supervised by sensors which can be used at structural synthesis of system or working out of devices of detection are formulated. The use of such a scheme reduces the number of undetermined parameters of the signal.Flying objects or turbulent flow is deflected beam of coherent light source in the space or turbulence in the fuel ejection atmosphere. The deviation of the laser light source is controlled by a telemetry device. There were exposed problems and challenges requiring further improvement of techniques. The technical result- increasingthe probability of detectionof objects andincrease the accuracy ofmeasurement of spatialcoordinates.

Keywords: laser, laser scanning, the object, the atmosphere

Применение лазеров и лазерного сканирования широко применяется в различных областях жизнедеятельности человека. Это и лазерная гироскопия, обработка материалов, и сварка, медицина, связь, локация, агрономия, голография, военное дело и т.д. Темпы исследований в области лазерной техники открывают возможности создания новых типов лазеров со значительно улучшенными характеристиками, позволяющими расширить области их применения в машино- и приборостроении. Экономическая эффективность лазерного оборудования определяет широкое применение лазерной техники в промышленности. В настоящее время появляются более производительные и надежные установки, которые позволят ускорить применение лазеров в различных областях науки и техники.

Однако одним из недостатков при применении лазерных приборов для определения температуры с помощью пирометров, лазерного сканирования атмосферы для определения летательных объектов является влияние турбулентности атмосферы или случайных пространственно-временных изменений показателя преломления, вызванных перемещением воздуха, флуктуациями его температуры или плотности [1]. Отсюда, температура воздуха изменяется от точки к точке в атмосфере по случайному закону, а температурные флуктуации являются функциями высоты и скорости воздушных потоков. Также объем нагретого воздуха около объекта с повышенной температурой наружной поверхности менее плотный, чем в прилежащих слоях атмосферы, поднимается, турбулентно смешиваясь с окружающим холодным воздухом. При этом показатель преломления воздуха напрямую зависит от его температуры, и световой луч, проходя через слой воздуха, отклоняется. Угол отклонения зависит от относительных размеров луча и температурной неоднородности.

При взаимодействии лазерного луча с турбулентной средой происходит случайное изменение амплитуды и фазы несущего колебания.

Состояние вопроса

Газы и взвешенные частицы, находящиеся на пути распространения оптического луча, могут излучать электромагнитные колебания. Этот приводит к ослаблению мощности колебаний и снижению яркостного контраста объекта относительно окружающего фона, что существенно при решении задач обнаружения. Рассматривают обычно два вида рассеивания. Это – атмосферное рассеяние, происходящее на частицах, размеры которых соизмеримы с размерами молекул, и называемое релеевским рассеянием. Также атмосферное рассеяние на частицах, размеры которых велики по сравнению с λ, называемое Ми-рассеянием. Оно характерно для исследования света в тумане или дыме.

Коэффициент ослабления при релеевском рассеянии определяют выражением

$$\alpha_{SR} = 0{,}827\, N A_P^3 \lambda_C^{-4}, \qquad (1)$$

где N – число частиц, приходящихся на единицу объема трассы распространения; A_p – площадь поперечного сечения рассеивающей частицы (площадь частицы и λ в формуле – в сантиметрах). В большинстве случаев релеевское рассеяние во много раз меньше, чем Ми-рассеяние, и им практически можно пренебречь.

Ми-рассеяние описывается с помощью следующего эмпирического соотношения:

$$\alpha_{SR} = \frac{3{,}91}{\gamma}\left[\frac{\lambda_C}{0{,}55}\right]^{-0{,}585\gamma^n}, \qquad (2)$$

где α_{SR} – коэффициент Ми-рассеяния; γ – метеорологическая дальность видимости, измеряемая в километрах, а для многих районов ежедневно сообщают в бюро погоды метеорологической службы; n – поправочный коэффициент.

Таким образом, в связи с наличием фактора рассеивания возникает необходимость в разработке более точных и надежных систем определения температуры или сканирования объектов в атмосфере. Как наиболее сложный, рассмотрим метод сканирования атмосферы. Существует достаточное количество способов и устройств обнаружения объектов с помощью лазерной локации, к которой относят наземные лазерные дальномеры, наземные локаторы, бортовые лазерные системы, лазерные системы разведки, или голографические индикаторы на лобовом стекле. На данный момент времени сложились основные направления, по которым идет внедрение лазерной техники в военное дело. Этими направлениями являются лазерная локация (наземная, бортовая, подводная), лазерная связь, лазерные навигационные системы, лазерное оружие, лазерные системы ПРО и ПКО. Известны различные типы лазерной локации. Это первый лазерный дальномер XM-23 прошел испытание во Вьетнаме и был принят на вооружение в армии США, норвежский лазерный дальномер LP-4, дальномер США AN/WS-1 для танка M60A, американский локатор типа «ОПДАР» для слежения за ракетами на активном участке их полета. Локатор для слежения имеет три устройства по углам: точный и грубый датчики по углам и инфракрасную следящую систему.

В работах [2, 3] изложены общая теория лазерной локации и принципы построения лазерных локационных средств, предназначенных для решения широкого круга практических задач. Рассмотрены вопросы оптимального приема лазерных локационных сигналов, измерения параметров. Проанализированы методы обработки траекторных измерений, различные способы получения некоординатной информации, включая топографическую, интерферометрическую и адаптивную.

Рассмотрим устройство в виде трехмерного лазерного сканера в 3D. По характеру получаемой информации работа этого прибора схожа с работой тахеометра. Так же, как и последний, сканер с помощью лазерного дальномера измеряет расстояние до объекта, измеряет горизонтальный и вертикальный угол, получая, таким образом, XYZ-координату. Разница в том, что лазерный сканер проводит тысячи, десятки и даже сотни тысяч измерений в секунду. Дневная съемка сканером – это десятки, сотни миллионов измерений. «Сырой» результат работы сканера – так называемое облако точек. Для каждой точки записываются три координаты и численная характеристика интенсивности отраженного сигнала, которая определяется характером поверхности, на которую попадает лазерный луч. Раскрашенное по интенсивности облако точек после сканирования напоминает цифровую трехмерную фотографию. Большинство современных лазерных сканеров также имеют встроенную видео/фотокамеру, поэтому облако точек также может быть раскрашено в реальные цвета. Также известны работы, представленные в Интернете по неземному и воздушному сканированию объектов в атмосфере на сайте «Технологии ТЭК».

В самом общем виде схема работы с лазерным сканером выглядит следующим

образом. Прибор устанавливается на штатив напротив снимаемого объекта. Оператор задает область сканирования и необходимое разрешение (плотность облака точек) и запускает процесс съемки. Для получения полной информации об объекте обычно приходится сканировать его с нескольких позиций (станций). Далее следует обработка «сырых» данных и оформление результатов измерений, полученных со сканера в том виде, который требуется изначально. Трехмерные модели, плоские планы, профили и сечения, вычисления объемов и площадей поверхностей можно получить в качестве конечного результата. Недостатками данного устройства является не достаточно точное определение объекта по причине воздушных турбулентных потоков, создаваемых двигателями самолетов или ракет.

Наиболее близким по техническому решению является способ обнаружения объектов и определения их местоположения и устройство для его осуществления [4]. В способе обнаружения объектов и определения их местоположения пространство, в котором находится разыскиваемый объект, подсвечивается двумя пучками импульсного лазерного излучения, каждый из которых непрерывно частотно модулирован по одной из пространственных координат, при этом координаты, по которым производится модулирование, взаимно ортогональны и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения излучения, а пучки импульсного лазерного излучения совмещены в пространстве. Устройство, реализующее способ, включает в себя два источника фазомодулированного лазерного излучения, две дифракционные решетки, две рассеивающие цилиндрические линзы, оптическую приемную систему, спектроанализатор, вычислительное устройство. Недостатком прототипа является то, что при лазерном сканировании информация о перемещающихся объектах искажается по причине возникновения турбулентных потоков, создаваемых двигателями ракет или самолетов.

Способ и устройство сканирования атмосферы и объектов

Задачей, поставленной перед авторами, явилось уменьшение искажений в пространственном анализе атмосферы. При этом технический результат заключается в повышении вероятности обнаружения объектов и повышении точности измерения пространственных координат. Для реализации этого направления предложено устройство для визуально-оптического контроля лазерного сканирования атмосферы в трехмерном пространстве с помощью телеметрической системы наблюдения, позволяющее осуществлять одновременно сканирование объектов в воздухе и наблюдать за отклонениями лазерного луча в воздухе турбулентными потоками ракеты или самолета с целью их обнаружения. Конечная цель заключается в повышении вероятности обнаружения объектов, особенно малоразмерных, в подсвечиваемом секторе пространства, при сокращении времени их обнаружения и повышении точности измерения пространственных координат. Предлагаемое изобретение позволяет уменьшить искажения в пространственном анализе атмосферы [5].

Для пояснения предполагаемого изобретения на рис. 1 (вид «сверху») и рис. 2 (вид «сбоку») изображен общий вид локационной системы. На рис. 1 представлена схема визуально-оптического контроля на виде «сверху». Само устройство состоит из сканирующего управляемого лазера 1, позволяющего отслеживать положение и отклонения лазерного луча 3 при попадании на объект 4 или след летящего объекта 5. На рис. 2 представлена схема визуально-оптического контроля на виде «сбоку». На данной схеме представлено телеметрическое устройство 2 с углом обзора а, позволяющее отслеживать положение и отклонение лазерного луча 3 при попадании на летящий объект 4 или след 5 летящего объекта.

Способ визуально-оптического контроля лазерного сканирования атмосферы осуществляется следующим образом. С помощью управляемого сканирующего лазера 1 осуществляется сканирование атмосферы в 3-мерном пространстве. След 5 летящего объекта (турбулентный поток), вызываемый летательным средством или объектом 4, отклоняет в пространстве луч 3 когерентного источника света на угол α при выбросе топлива в атмосферу. Отклонение лазерного источника света контролируется телеметрическим устройством 2.

Экспериментальные исследования

Для работы с данными и подтверждением работоспособности метода разработана система, реализующая способ, который включает подсветку атмосферы лазерным излучением, прием отраженного излучения и использование вычислительной системы. Наиболее близкой для статического исследования визуализации контроля лазерного луча использована установка, включающая в себя видеокамеру, лазерную указку, экран с определителями отклонения луча и бытовую газовую зажигалку.

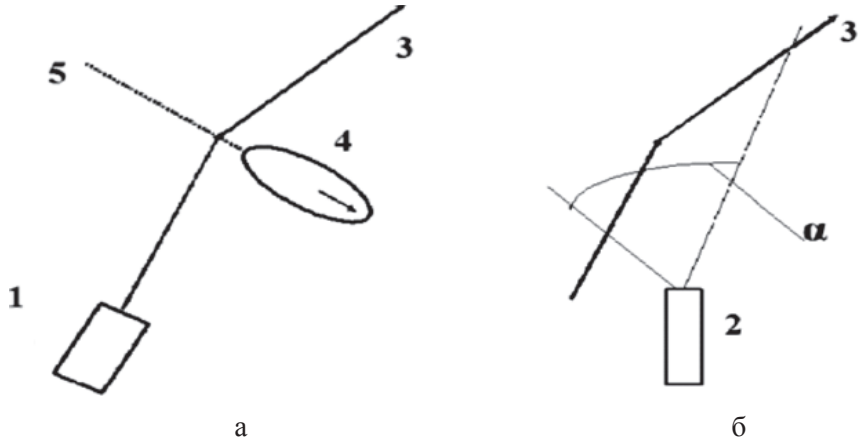

Рис. 1. Схема визуально-оптического контроля:
а – на виде «сверху»; б – на виде «сбоку»

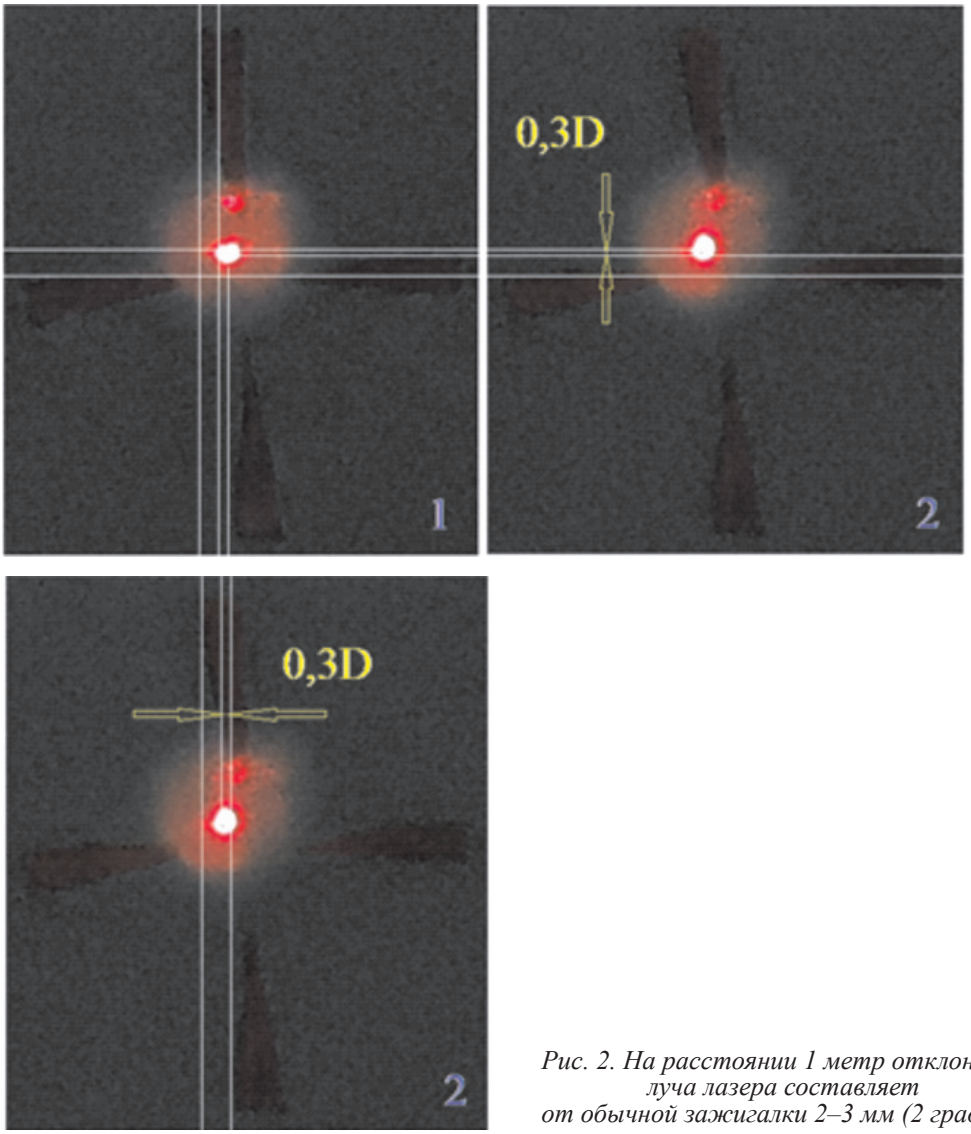

Рис. 2. На расстоянии 1 метр отклонение луча лазера составляет от обычной зажигалки 2–3 мм (2 градуса)

Для проведения экспериментальных исследований использована схема определения отклонения когерентного луча от лазерной указки при изменении на его пути теплового поля и создании турбулентности от газовой зажигалки, а также наблюдение с помощью цифровой видеокамеры. Луч источника лазерного устройства

направлялся на экран с определителями отклонения, пятно которого фиксировалось с помощью цифровой видеокамеры (рис. 2, фотообъект 1). При внесении помех с помощью газовой зажигалки когерентный луч отклонялся на некоторый угол. На экране, представленном на рис. 2, видно, как пятно лазерного луча диаметром $D = 8$ мм перемещалось в сторону, как по горизонтали, так и по вертикали, приблизительно на 2–3 мм, т.е. около 0,3D. Это также зафиксировано с помощью цифровой видеокамеры (рис. 2, фотообъект 2).

Выводы

Таким образом, система, основанная на визуально-оптическом лазерном сканировании атмосферы, позволяет осуществлять контроль объектов в 3-мерном пространстве, выделяя отдельные объекты, только ракеты или самолеты, создающие турбулентные потоки за счет сгорания топлива. Кроме этого, пирометрическое определение температуры поверхности при использовании данного способа позволяет более точно получить данные, особенно на больших расстояниях для малых объектов. В результате анализа литературных источников, анализа теоретических и экспериментальных исследований разработан и запатентован способ визуально-оптического контроля лазерного сканирования атмосферы. Поставленная цель достигается в повышении вероятности обнаружения объектов, особенно малоразмерных, в подсвечиваемом секторе пространства, при сокращении времени их обнаружения и повышении точности измерения пространственных координат. Предлагаемое изобретение позволяет уменьшить искажения в пространственном анализе атмосферы [7].

Список литературы

1. Лазерные системы связи: учеб. пособие / В.Г. Нечаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 68 с.

2. Лазерная локация / под ред. Устинова Н.Д. – М.: Машиностроение, 1984. 272 с.

3. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация Земли и леса: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2006. – 230 с.

4. Матвеев В.Ю., Павлов Н.И. Патент № 2224267 Российской Федерации. МПК G01S 17/06, G01S 17/88, G01S 17/00. Способ обнаружения объектов и определения их местоположения и устройство для его осуществления; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем». № 2002105069/09 заявл. 26.02.2002; опубл. 20.02.2004. – 3 с.

5. Попсуй С.П., Таурин В.Э., Швецов И.В., Швецова С.А. Патент № 2489732. МПК G01S17/06. Способ визуально-оптического контроля лазерного сканирования атмосферы; заявитель и патентообладатель Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. № 2011147077/28; заявл. 18.11.2011; опубл. 10.08.2013. – 3 с.

References

1. Nechaev V.G. Lazernye sistemy svyazi: ucheb. posobie. Novosibirsk, Izd-vo NGTU, 2005. 68 p.

2. Lazernaya lokaciya (pod red: Ustinova N.D.). Moscow, Mashinostroenie, 1984. 272 p.

3. Medvedev E.M., Danilin I.M., Melnikov S.R. Lazernaya lokaciya Zemliilesa: Uchebnoe posobie. 2 izd., pererab. Krasnoyarsk, Institut lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2006. 230 p.

4. Matveev V.Yu., Pavlov N.I. Patent № 2224267 RossijskojFederacii. MPK G01S 17/06, G01S 17/88, G01S 17/00. Sposob obnaruzheniya obektov i opredeleniya ix mestopolozheniya I ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya; zayavitel i patentoobladatel Federalnoe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie «Nauchno-issledovatelskij institute kompleksnyx ispytanij optiko-elektronnyx priborov i sistem». no. 2002105069/09 zayavl. 26.02.2002; opubl. 20.02.2004. 3 p.

5. Popsuj S.P., Taurin V.E., Shvecov I.V., Shvecova S.A. Patent № 2489732. MPK G01S17/06. Sposob vizualno-opticheskogokontrolya lazernogo skanirovaniya atmosfery.; zayavitel i patentoobladatel Novgorod. gos. un-t im. Yaroslava Mudrogo. no. 2011147077/28; zayavl. 18.11.2011; opubl. 10.08.2013. 3 p.

Рецензенты:

Бичурин М.И., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Проектирование и технологии радиоаппаратуры» Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, г. Нижний Новгород;

Бондаренко Е.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Управление и деловое администрирование», проректор по научной работе Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 08.11.2013.