

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ПОДСВЕТКИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2006 В.И. Мордасов¹, В.И. Кузнецов², Н.А. Сазонникова¹

¹ - Самарский государственный аэрокосмический университет
² - ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Исследованы возможности метода лазерной локации с перестраиваемой длиной волны, частотой следования импульсов и длительностью импульса. В разработанном методе выявлена зависимость характера отраженного поверхностью сигнала от длины волны, частоты следования импульсов и их длительности. Проведены экспериментальные исследования по определению возможностей лазерной системы локации.

Перспективы создания нового поколения оптико-электронных средств обнаружения и оценки перемещения подвижных объектов, открывают системы на основе центроидного и корреляционного способов слежения с учетом реальной фоновой обстановки. Исследованы возможности реализации метода обнаружения объектов лазерной локацией с изменяемой длиной волны, частотой генерации и длительностью импульса. В описанном методе лазерной локации выявлена зависимость отражательных характеристик исследуемых объектов от длины волны излучения, частоты генерации и длительности импульса при зондировании их поверхности. Уникальными возможностями вспомогательной лазерной подсветки являются перестройка длины волны и импульсно-периодического режима зондирующего излучения. Последнее позволяет получать эффекты, недостижимые для естественного освещения, открывает дополнительные возможности для обнаружения замаскированных и других объектов (определение вида материалов, температуры, коэффициента отражения внешней поверхности). Увеличение освещенности и использование направленного лазерного излучения также являются определяющими факторами для повышения обнаружительной способности космической системы видовой разведки.

Активный поиск методов и средств построения высокоточных оптико-электронных систем с лазерным подсветом для обнаружения и сопровождения целей в условиях сложной фоноцелевой обстановки требует создания достоверных методов теоретической и экспериментальной оценки эффективности данных систем для обеспечения требуемых характеристик работоспособности и помехоустойчивости, проведения сравнительной оценки методов и средств

слежения за удаленными структурированными объектами с эффективной поверхностью отражения $\geq 1 \text{ м}^2$ с формированием изображения.

Одной из основных задач, решаемых с помощью космических оптико-электронных систем наблюдения, является распознавание регистрируемых объектов. Данная задача решается путем определения отражательных характеристик материалов внешней компоновки наблюдаемых объектов. Возможности выявления вида материалов внешней компоновки существенно расширяются при использовании вспомогательной подсветки, благодаря использованию таких свойств лазерного излучения, как направленность, монохроматичность, когерентность, а также возможности перестраивания длины волны излучения и работе в импульсно-периодическом режиме с изменением длительности импульсов. Отличительной особенностью формирования отраженного сигнала при зондировании исследуемой поверхности лазерным излучением является возникновение краевых эффектов, приводящих к перераспределению интенсивности излучения в пограничной зоне наблюдаемых объектов. При этом размеры зоны и характеристики краевых эффектов определяются параметрами измерительной системы – диаметром пятна излучения на поверхности, длиной волны излучения, модовым составом излучения и характеристиками поверхности – материалом, структурой, размерами макро- и микроэлементов поверхности и их ориентацией относительно зондирующего пучка. Краевые эффекты могут вносить искажения в регистрируемые изображения и одновременно служить источником информации о наблюдаемых объектах.

Принимаемый в исследованиях диапазон длин волн - от коротковолнового ульт-

рафиолетового диапазона $(0,1...0,3) \cdot 10^{-6}$ м до далекой ИК-области $(20...70) \cdot 10^{-6}$ м (генерируемое излучение с высокими энергетическими параметрами имеет длину волны $0,4 \cdot 10^{-6}...10,6 \cdot 10^{-6}$ м).

Метод обнаружения объектов лазерной локацией заключается в определении зависимости отражательной способности поверхности зондируемых объектов при изменении длины волны $(0,3...10,6$ мкм), перестройки частоты следования импульсов $(10...30$ Гц) и изменения величины скважности $0...1$. При выявлении вида материалов внешней компоновки объекта, возможности метода существенно расширяются при использовании вспомогательной подсветки, благодаря использованию таких свойств лазерного излучения, как направленность, монохроматичность, когерентность, а также возможности перестройки длины волны излучения и работы излучателя в импульсно-периодическом режиме с изменением длительности импульсов.

Характеристики краевых эффектов, возникающих в пограничной зоне наблюдаемых объектов, зависят от параметров оптической системы – длины волны излучения, диаметра пятна излучения на поверхности, величины расходимости и отражательных характеристик поверхностного слоя объекта – материала, структуры поверхностного слоя, размеров и формы элементов пограничной зоны и их ориентации относительно зондирующего пучка. Размеры пограничной зоны будут определяться в зависимости от диаметра пятна зондирующего пучка и длины волны излучения. При этом краевые эффекты связаны с изменением направления распространения излучения при отражении от поверхности исследуемых объектов и с возникновением ряда дифракционных явлений на элементах поверхности. Выявлены основные критерии подобия при рассмотрении процесса отражения излучения от поверхности, которые определяются соотношением размеров объекта с диаметром зондирующего пятна и длиной волной излучения.

Выявлено, что при отражении импульса излучения от поверхности происходит его временная деформация, которая зависит от материала поверхности (цвет, шероховатость и др.) и размеров объекта. Зарегистрированный сигнал представляет собой интегральная величина от падающего им-

пульса излучения. Регистрируемый отраженный импульс содержит 2 компонента: когерентный и диффузный, соответственно, измеряемый коэффициент отражения имеет две составляющих: зеркальную и диффузную. Коэффициент деформации импульса зависит от формы импульса и свойств отражающей поверхности. При измерениях с разрешением по времени результаты аналогичны применению интегрирующей сферы, но могут быть и более информативными. Для импульсов с длительностью $t < t_{кр}$ происходит формирование когерентного пика. Ширина углового распределения сигнала зарегистрированного сигнала зависит от материала и его состояния.

При прохождении потока излучения в атмосфере наиболее целесообразно использовать: дальний УФ ($\lambda < 0,3 \cdot 10^{-6}$ м), ближний УФ ($0,3 \cdot 10^{-6} < \lambda < 0,4 \cdot 10^{-6}$ м), видимый диапазон спектра ($0,4 \cdot 10^{-6} < \lambda < 0,8 \cdot 10^{-6}$ м), ближний ИК ($0,8 \cdot 10^{-6} < \lambda < 1,2 \cdot 10^{-6}$ м), средний ИК ($3 \cdot 10^{-6} < \lambda < 5 \cdot 10^{-6}$ м), дальний ИК ($8 \cdot 10^{-6} < \lambda < 12 \cdot 10^{-6}$ м). В области дальнего УФ используются эксимерные лазеры, в области ближнего УФ и видимого диапазона – твердотельные лазеры с диодной накачкой и различными нелинейными преобразователями излучения. При построении измерительных систем целесообразно применение полупроводниковых лазеров.

Исследованы отражательные характеристики материалов внешней компоновки объектов для внесения в банк данных результатов экспериментальных исследований. Экспериментально показано, что нитроэмалевое, терморегулирующее покрытие и экранно-вакуумная теплоизоляция имеют диффузное отражение излучения, а фоточувствительный слой солнечных батарей и алюминиевый сплав после химполирования – зеркальное.

Установлено, что изменение коэффициента диффузного отражения от длины волны для различных материалов при различных углах падения излучения происходит не менее чем на 20 % при погрешности измерений 3...4 %.

Создан испытательный стенд для апробации результатов моделирования и проведения имитационных экспериментов с учетом параметров зондирующего пучка. Структура стенда включает механическую систему углового сопровождения и устройства оптической визуализации объекта. Рас-

смотрен порядок обнаружения объектов системой лазерной локации с использованием изменения параметров генерации излучения зондирующего пучка. Экспериментальные исследования проводились на испытательном стенде для лазерной локации с погрешностью измерений 3...5 %.

Показано, что при увеличении интенсивности, частоты генерации и скважности импульса лазерного излучения значение коэффициента отражения уменьшается. Менее стойкими к тепловому воздействию являются теплорегулирующие покрытия на основе силикатной связки с наполнителем (ZrO_2 , MgO , ZnO). Превышение порогового значения падающего излучения сопровождается разрушением поверхности материала в виде его плавления, испарения и растрескивания.

Испытательный стенд оптической локации (рис.1) включает механическую систему углового сопровождения и устройства оптической визуализации.

При проведении подобных экспериментальных исследований на испытательном стенде изучаемая модель типового изделия с помощью двух механизмов поворота может вращаться вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. При этом угол поворота модели вокруг каждой оси отслеживается с помощью датчиков, каждый из которых представляет собой фотодиод и фотоприёмник, разделённый вращающимся диском с отверстиями, насаженным на вал электродвигателя механизма поворота. Электрические сигналы с датчиков угла поворота поступают в вычислительный комплекс, где количество поступивших импульсов пересчитывается в угол поворота. Для создания зондирующего пучка освещения модели служат лазеры с рабочими длинами волн излучения в диапазоне $(0,63...10,6) \cdot 10^{-6}$ м. Оптический стенд имеет измерительную систему параметров выходного излучения и формирователь зондирующего пучка. Отражённое от модели излучение регистрируется фотоприёмником, телекамерой или тепловизором. необходим для решения следующих задач: проведение анализа уровня освещённости участков элемента конструкции, исследование оптических свойств поверхностей и распределение освещённости в зондирующем пучке освещения, определение координат ЭЦО изделия при заданном уровне фона, определение вектора перемещения ЭЦО при изменении

положения изделия в пространстве, определение оптических свойств материалов (коэффициент отражения и индикатриса отражения) при заданных температурах.

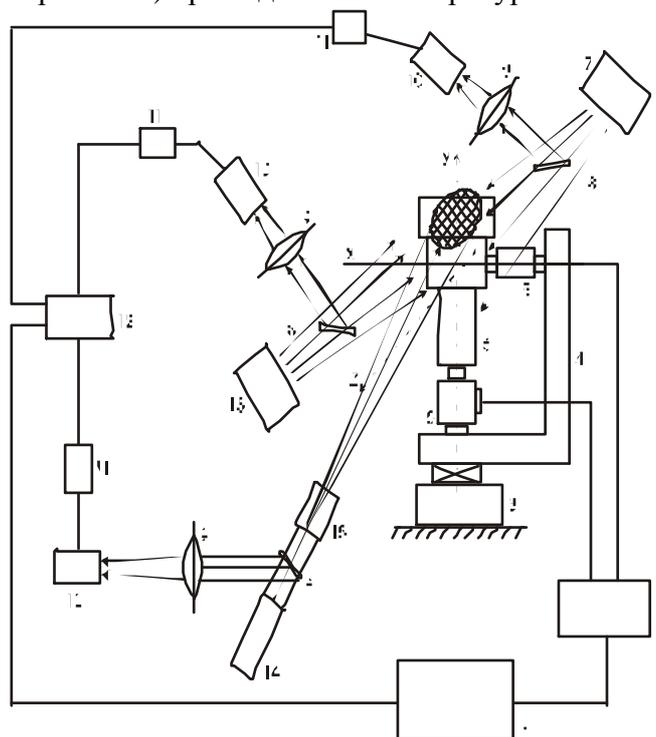


Рис.1. Испытательный стенд лазерной локации: 1- ПЭВМ; 2- блок управления приводами модели; 3- узел крепления стенда; 4- рама крепления привода; 5- привод с датчиками углового поворота; 6- модель цели; 7- первый имитатор источника света; 8- полупрозрачное зеркало; 9- линза; 10- фотоприемник; 11- фоторегистратор; 12- блок обработки информации; 13- второй имитатор источника света; 14- лазер; 15- формирователь зондирующего пучка; 16- телекамера

В разработанном стенде для простой фоновой обстановки, когда сигнал от модели типового изделия существенно превышает сигнал от фона при отсутствии двух контрастных объектов, выбран центроидный способ слежения. Он состоит в отыскании энергетического центра освещённости модели типового изделия и вычисления траектории его перемещения.

Данный способ адаптируем в сложной фоновой обстановке, поскольку в некоторых случаях возможно исключение влияния фона. С целью имитации температурного портрета модели типового изделия снабжены встроенными нагревателями.

На испытательном стенде оптико-электронной системы наблюдения объектов проведены исследования характеристик источников и приемников излучения. Выявле-

ны перспективные типы лазерных излучателей с учетом окон прозрачности атмосферы со средней мощностью излучения ≤ 10 кВт, которые могут быть использованы в мобильных активных оптико-электронных комплексах сопровождения с учетом их массогабаритных и энергетических ограничений. К ним относятся: в ближнем ультрафиолетовом диапазоне – эксимерные лазеры; в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне – твердотельные лазеры с перестройкой спектра излучения и лазеры на красителях; в среднем инфракрасном диапазоне – HF/DF лазеры и CO₂ – лазеры (вторая гармоника); в дальнем инфракрасном диапазоне – CO₂-лазер с перестройкой спектра. Облучение излучением, модулированным с мощностью зондирующего потока 0,1...1 кВт и диаметром апертуры 0,1...0,5 м с расходимостью (10^{-3} ... 10^{-6} рад) делает возможным селекцию цели.

Для лазерной локации геометрические размеры цели не определяют мощность отраженного сигнала. При установлении количественной оценки вводится понятие эффективной поверхности рассеяния, численно равной площади такой плоской поверхности, которая при равномерном рассеянии зондирующего излучения во все стороны (изотропно) создает на приемной апертуре лазерной системы интенсивность излучения, равную фактической.

Разработан и прошел аттестацию специализированный испытательный стенд, необходимый для проведения анализа уровня освещенности участков элемента конструкции, исследования оптических свойств поверхностей и распределения освещенности в зондирующем пучке. Он включает следующее оборудование: привод модели, модель летящей цели, сканирующее устройство, имитаторы фонового излучения. В качестве моделей объектов используются космические аппараты ALOS (Advanced Land Observation Satellite) и КА Ikonos. Пространственное разрешение КА составляет 2,5...10 м. Средняя высота орбиты составляет 681-692 км, наклонение $98,1^{\circ}$ - $98,16^{\circ}$.

Для оценки влияния эксплуатационных факторов системы обнаружения на вероятность срыва слежения определена передаточная функция лазерной системы обнаружения. В соответствии со структурной анализируемой лазерной системой видения определяется ее модуляционная

передаточная функция. По заданному значению метеорологической дальности видения находится показатель ослабления излучения в атмосфере для заданной длины волны, затем определяются показатели поглощения и рассеяния. Также определяется индикатриса рассеяния в обратном направлении в условиях заданной фоноцелевой обстановки. Интенсивность атмосферной турбулентности определяется структурной характеристикой показателя преломления, которая для заданного состояния атмосферы соответствует уровню сильных флуктуаций. Предельная дальность видения оптико-электронных систем обнаружения определяется абсциссой точки пересечения зависимостей минимального разрешаемого контраста и наблюдаемого контраста, которые строятся как функции дальности. Эффективность применения центроидного и корреляционного способов обнаружения и сопровождения объекта возможна при определении его энергетического центра освещенности, если характеристики приемника излучения выбираются из условия обеспечения необходимой чувствительности и требуемой помехозащищенности всей оптико-электронной системы. Показатель вероятности появления составляющей освещения конкретного объекта может быть выявлен лишь при учете составляющей шума внешних факторов, потеря мощности излучения в оптической системе, величины угла пространственной ориентации аппарата и показателя устойчивости устройства наведения лазерной подсветки.

Проведено экспериментальное исследование оптической передаточной функции оптико-электронной системы наблюдения (рис.2). На глубину резкости изображения и четкости контура при максимальных значениях величины яркости и величины контрастности оказывает влияние только показатель цветовой гаммы при условии выделения красной составляющей из цветовой гаммы подсветки объектов. При минимальном значении показателя цветовой гаммы наблюдается появление дополнительных границ объектов, а при максимальном значении наоборот размытие границ отдельных объектов.

При средних показателях телеканала глубина резкости изображения минимальна, а четкость контура группировок объектов не присутствует. При минимальном значении

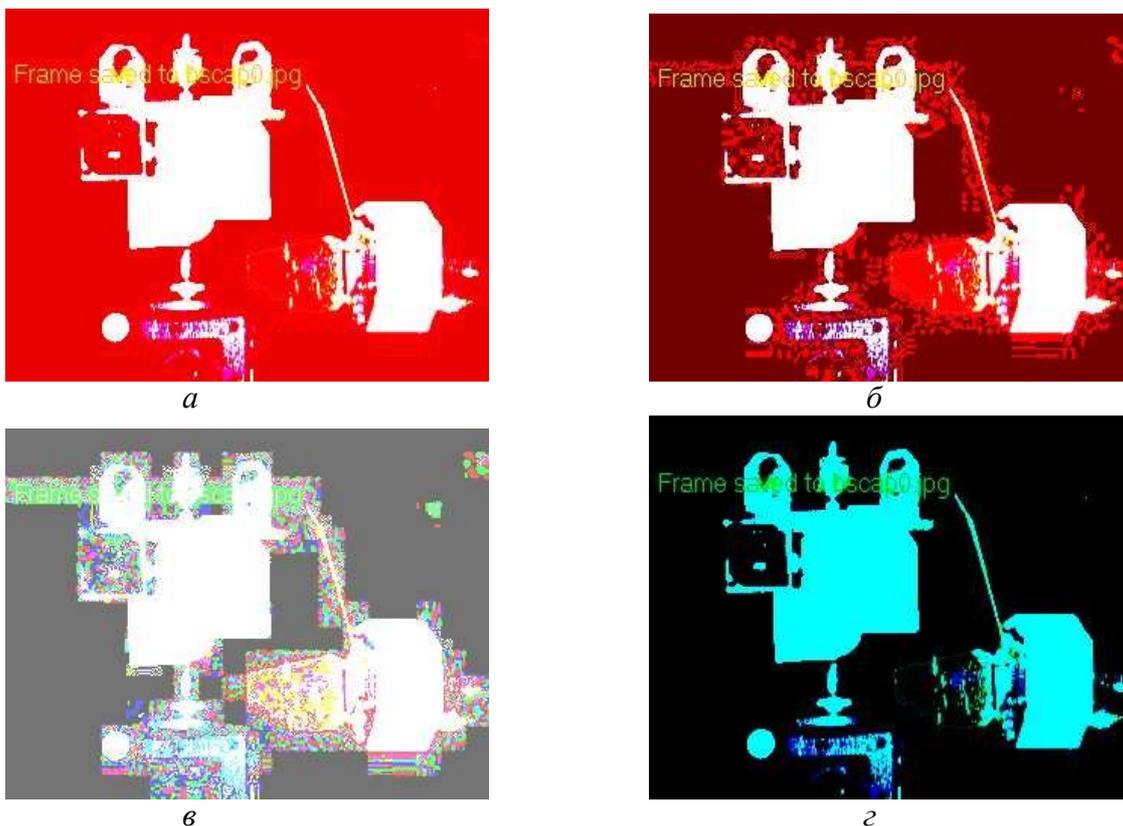


Рис.2. Общий вид изображения группировки объекта для красной составляющей цветовой гаммы
 а- величины: яркости $b=100$; контрастности $K=100$; гаммы цветов $\gamma=9,7$;
 б- величины: яркости $b=100$; контрастности $K=100$; гаммы цветов $\gamma=1$;
 в- величины: яркости $b=50$; контрастности $K=50$; гаммы цветов $\gamma=1$;
 г- величины: яркости $b=0$; контрастности $K=0$; гаммы цветов $\gamma=0,1$.

показателя цветовой гаммы $\gamma=0,1$ обратного сигнала наблюдается появление дополнительных границ объектов, а при максимальном значении $\gamma=9,7$ наоборот размытие границ отдельных объектов. При минимальных значениях показателей телеканала четкость контуров объектов на изображении снижена. Анализ изображений при условии выделения зеленой составляющей из цветовой гаммы подсветки объектов показывает, что здесь четкость контуров объектов наблюдается лишь при усредненных параметрах телеканала. При высоких значениях величин яркости и контрастности границы объектов изменяются, причем при среднем значении показателя цветовой гаммы объекты увеличиваются в размере.

Список литературы

1. Валентюк А.Н., Предко К.Г. Оптическое изображение при дистанционном наблюдении/Институт физики имени Б.И. Степанова АН БССР. Минск: Наука і тэхніка, 1991 -358 с.
2. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли: математические модели повышения эффективности КА/ А.В. Соллогуб, Г.П. Аншаков, В.В. Данилов и др. Под ред. Д.И. Козлова. М.:Машиностроение, 1993 – 366 с.
3. Управление космическими аппаратами зондирования Земли: Компьютерные технологии/ Д.И. Козлов, Г.П. Аншаков, Я.А. Мостовой, А.В.Соллогуб. М.: Машиностроение, 1998.- 366 с.

THE IMPLEMENTATION OF LASER ILLUMINATION FOR MOVABLE OBJECTS LOCATION

© 2006 V.I. Mordasov, V.I. Kuznetsov, N.A. Sazonnikova

The possibilities of method of laser location implementation with use of changeable wavelength, pulse frequency and pulse duration were investigated. For the present method dependence of characteristics of surface reflecting against laser wavelength, pulse frequency and pulse duration at the surface light sounding were expose. The changeable wavelength and tunable pulse-periodic operation of operation are unique possibilities of laser systems.