Оптический журнал

Оптическое материаловедение и технология

УДК 621.384.4; 621.383.8

Лазерная система видения ультрафиолетового диапазона

© 2019 г. А. Б. Берлизов; В. Б. Лебедев, канд. техн. наук; А. А. Луковников; Г. Г. Фельдман, доктор техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ), Москва

E-mail: berlizov@vniiofi.ru

Поступила в редакцию 19.11.2018

DOI:10.17586/1023-5086-2019-86-02-41-45

Представлена разработанная во ВНИИОФИ лазерная система видения в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Система создана на основе электронно-оптической камеры и лазерного источника подсветки на длине волны 351 нм. Приёмником ультрафиолетового излучения служит электронно-оптический преобразователь с фотокатодом S25 на увиолевом стекле. В состав системы входят также объективы, интерференционный ультрафиолетовый фильтр, генератор импульсов. Программное обеспечение позволяет наблюдать в режиме on-line изображение на дисплее компьютера, проводить обработку и анализ изображений, сохранять полученную видеоинформацию.

Ключевые слова: *оптико-электронные системы наблюдения, ультрафиолетовый диапазон, электронно-оптическая камера.*

Коды OCIS: *110.2970.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время приборы наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне (УФ) применяют, главным образом, в криминалистике, биологии, медицине для исследования близкорасположенных объектов. Из открытых коммерческих разработок в области УФ видения можно назвать приборы американской фирмы «Oculus Photonics» и Jobin Yvon — Horyba [1, 2]. В 2006 г. прибор фирмы «Oculus Photonics» рекламировался как первое в мире устройство для записи изображений в УФ области спектра. Созданная в этой фирме аппаратура позволяет наблюдать и записывать в пассивном режиме или при стационарной подсветке изображения, находящиеся вблизи объектов в диапазоне длин волн 300–400 нм. Изучается возможность дистанционного наблюдения и локации сред в УФ диапазоне [3]. Имеются публикации о дистанционных наблюдениях в УФ диапазоне в пассивном режиме при съёмке с самолёта при высоте полёта 600–900 м [4]. Встречаются работы по пеленгации факелов ракет и бликующих объектов [5, 6]. Информация о реально работающих в активно-импульсном режиме (АИР) лазерных УФ системах видения на дальних дистанциях отсутствует.

Отражательная способность различных предметов существенным образом зависит от спектрального диапазона, в котором ведётся наблюдение. По этой причине растительные покровы, пластики, ткани, здоровые и поражённые биологические ткани, близкие по яркости в видимом диапазоне, при наблюдении в ультрафиолетовых и инфракрасных (ИК) лучах часто существенно различаются. Эти отличия несут дополнительную информацию о свойствах объектов. Такого рода информация может быть использована в спектрозональной разведке, экологии, криминалистике, материаловедении, в медицине, в военных приложениях. Увеличение количества спектральных каналов получения информации значительно повышает потенциал приборов наблюдения [7].

Ниже представлены характеристики разработанной во ВНИИОФИ лазерной системы видения УФ диапазона, предназначенной для наблюдения и получения изображений объектов на дистанциях в пределах 1 км и результаты испытаний, проведённых на ростовой фигуре человека в камуфляже.

СОСТАВ СИСТЕМЫ

В системе используется активная подсветка наблюдаемого объекта лазером, работающим на третьей гармонике монокристалла двойного фторида иттрия-лития, активированного неодимом YLF-Nd с накачкой полупроводниковым диодом. Длина волны излучения — 351 нм, длительность импульса — 5 нс. Частота следования импульсов — от однократного до 5 кГц. Максимальная энергия в импульсе — 60 мкДж на частоте 1 кГц. Полный угол расходимости излучения — 6 мрад по уровню 0,1. Луч подсветки формировался с помощью кварцевой линзы с фокусом минус 80 мм. Размер пятна подсветки изменяли, перемещая линзу относительно каустики луча, так чтобы наряду с объектом высвечивался участок фона, сопоставимый по размеру с размером объекта или превышающий его.

В качестве принимающего объектива использовали зеркально-линзовые объективы на базе МТО-1000 и МТО-500, снабжённые интерференционным фильтром на длину волны 351 нм. Пропускание фильтра в максимуме — 52%, полная ширина на уровне 0,5 составляет 8 нм.

Приёмником излучения служит однокадровая электронно-оптическая камера (ЭОК) производства ВНИИОФИ, работающая в спектральном диапазоне 250–880 нм. В состав ЭОК входят два электронно-оптических преобразователя (ЭОП), сочленённых контактно через волоконно-оптические пластины, блоки питания, управления и считывающее устройство на основе ПЗС-матрицы.

Люминесцентный экран принимающего УФ излучение ЭОП нанесён на волоконно-оптическую пластину. Второй ЭОП имеет волоконно-оптический вход, на котором сформирован фотокатод. Он контактно сочленён с экраном первого ЭОП.

Усиление электронного потока в обоих ЭОП осуществляется с помощью микроканальных пластин (МКП) и достигает приблизительно 10^6.

Организация работы камеры обеспечивается электронными блоками управления и питания. Стробирование изображения осуществляется следующим образом. Блок управления формирует открывающие МКП первого ЭОП затворные импульсы, синхронизованные с отражёнными от объекта наблюдения лазерными импульсами подсветки. Длительность затворных импульсов регулируется от 5 до 500 нс, что соответствует глубине изображаемого пространства от 0,75 до 75 м.

Изображение переносится с экрана второго ЭОП на ПЗС-матрицу считывающего устройства с помощью объектива. Число эффективных элементов ПЗС-матрицы — 1360×1040.

Считывающее устройство может работать в непрерывном режиме с возможностью одиночного и циклического ввода и обработки изображения, а также в ждущем режиме при запуске от внешнего синхроимпульса.

В программе обработки заложена возможность автоматического суммирования изображений в ходе наблюдения, а также получения полусуммы, суммы и разности двух сохранённых изображений в процессе анализа.

Чтобы уменьшить влияние внутренних помех, обусловленных главным образом шумами считывания (т.е. шумами матрицы и схемотехники камеры), перед проведением наблюдений проводится накопление, усреднение и сохранение «изображений» при закрытом объективе. Полученные «изображения» затем вычитаются автоматически из изображений объекта.

Режим работы всей системы задаётся с помощью генератора, подающего импульсы на запуск лазера и задержанные относительно них синхроимпульсы на запуск камеры. Частота следования импульсов может изменяться от однократных до 1500 Гц. Задержка регулируется в диапазоне от 10 нс до 10 мкс, что соответствует дистанциям от 1,5 до 1500 м.

Камера, лазер с источником питания и генератор импульсов размещены на жёсткой металлической пластине и закрыты П-образной металлической крышкой. Излучатель лазера расположен на юстируемом столике. Вся конструкция в целом размещена на оптическом столе и треноге с возможностью качания по углам рысканья и тангажа.

Питание прибора осуществляется от сети напряжением 220 В/50 Гц, или от источника питания постоянного тока напряжением 24 В. Общий вид прибора показан на рис. 1 и 2, основные технические характеристики приведены в таблице.

На корпусе прибора крепится съёмное устройство наведения. В дневное время можно использо-

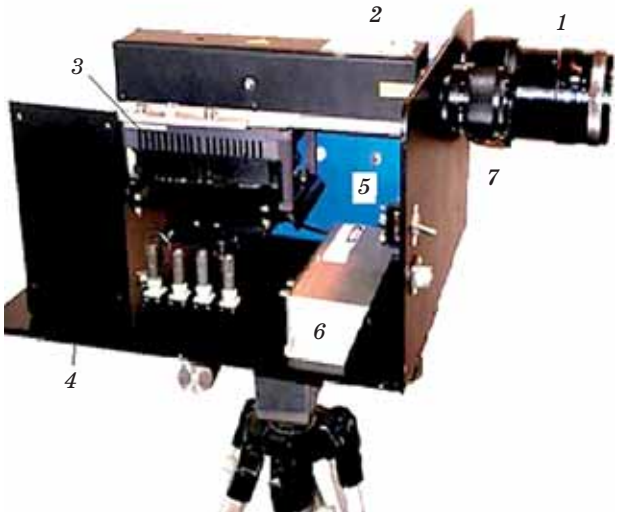

Рис. 1. Прибор без кожуха. *1* — приёмный объектив, *2* — излучатель, *3* — вентилятор, *4* — генератор импульсов, *5* — электронно-оптическая камера, *6* — блок питания лазера, *7* — передающий объектив.

Рис. 2. Общий вид прибора.

Характеристики прибора лазерной системы видения ультрафиолетового диапазона

Характеристика	Единица измерения	Номинал
Спектральный диапазон	нм	351
Объектив (фокусное расстояние)	м	0,3; 0,65; 0,9
Угол зрения	град	5,0; 3,42; 2,5
Глубина строба	м	0,75–75
Частота запуска	Гц	От однократного до 1500
Задержка синхроимпульса	мкс	0,1–20
Длина волны излучателя	нм	351
Энергия в импульсе	мДж	0,06
Длительность импульса	нс	5
Напряжение питания	В	220(50 Гц)/24 (пост.)
Потребляемая мощность	Вт	120
Масса (без АКБ)	кг	17
Охлаждение		Воздушное (вентилятор)

вать обычный прицел, в ночное время — прибор ночного видения.

Прибор может работать как в активно-импульсном, так и в пассивном режиме. Программное обеспечение позволяет проводить с полученными изображениями широкий спектр операций, в частности, фотометрический анализ.

ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА

Важными достоинствами наблюдения объектов в УФ диапазоне являются отсутствие интенсивных искусственных и естественных помех. Кроме того, благодаря положительному контрасту объект–фон, появляется возможность более эффективного, чем с обычными приборами ночного видения ближнего ИК диапазона, обнаружения объектов на фоне растительности [8]. При дневных наблюдениях влияние основной помехи, возникающей из-за рассеянного солнечного УФ излучения, можно существенно уменьшить за счёт спектральной фильтрации и использования коротких временных стробов. Стробирование позволяет также снизить влияние помехи обратного рассеяния.

Работа системы считывания ЭОК в режиме накопления и суммирования изображений позволяет использовать лазер с низкой энергией. Так, например, в представленных на рис. 3 и 4 изображениях на фотокатод за один импульс попадало порядка 490 фотонов или $2{,}8\times10^{-16}$ Дж. При частоте следования импульсов 1500 Гц изображение сформировано примерно $7{,}35\times10^{5}$ фотонами. Длительность строба для времени накопления 5 с составляла 10 нс, что соответствует глубине сцены 1,5 м. Изображение с временем накопления 10 с

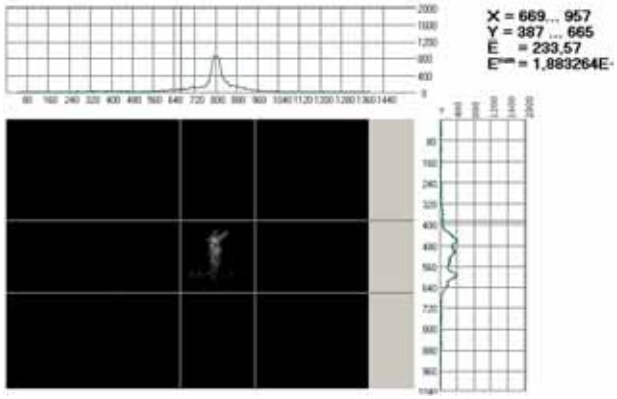

Рис. 3. Дистанция — 800 м, время накопления — 5 с.

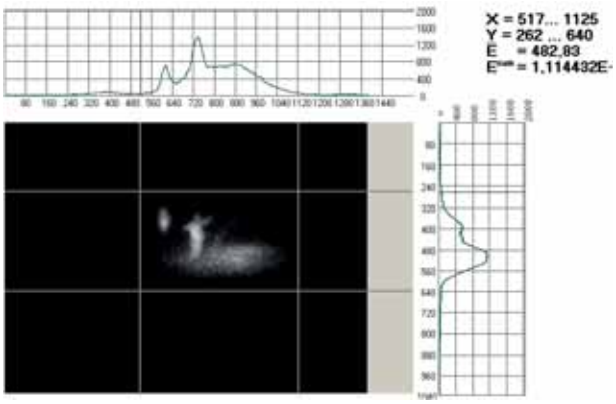

Рис. 4. Дистанция — 800 м, время накопления — 10 с.

получено с длительностью строба 50 нс (глубина сцены 7,5 м). В кадр попал транспарант из белой ткани, расположенный на дереве в 5 м за объектом. Съёмка велась в ночное время, объект находился на расстоянии 800 м.

Кривые в верхней части и справа на рисунках характеризуют распределение «яркости» изображения в выделенных полосах. В правом верхнем углу указаны координаты выделенного прямоугольника в пикселах, а также средняя «яркость» по прямоугольнику и всей сцене.

Оценки, проведённые по результатам съёмок на различных дистанциях, с разными временами накопления и длительностями кадров, показывают, что размер объекта на экране монитора и соотношение яркостного контраста объект–фон позволяют уверенно обнаруживать объект на расстоянии до 1 км.

На рис. 5 показана фотография объекта в камуфляжной куртке на фоне кустарника. На рис. 6 фрагмент этой фотографии совмещён с изображением, полученным в УФ диапазоне на дистанции 230 м. В левой части, соответствующей видимому изображению, трудно выделить объект и фон, кривая носит шумовой характер. Лазерный луч

Рис. 5. Объект в камуфляжной куртке на фоне кустарника.

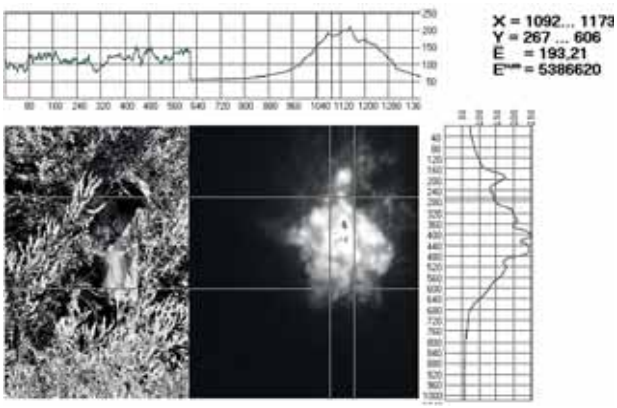

Рис. 6. Распределение яркости по объекту в камуфляже в видимом (слева) и УФ диапазоне (справа).

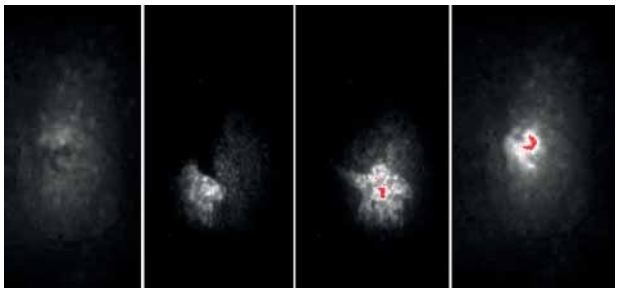

Рис. 7. Объект в камуфляже, укрывающийся за кустом.

высвечивает пятно в форме эллипса с осями 3,2 м по вертикали и 2,3 м по горизонтали. Центр пятна находится на уровне плеч. Трава отражает УФ излучение хуже, чем листва деревьев. По глубине сцены, составляющей 3 м, в строб попадают объект, листва и трава.

Контраст по отношению к фону, рассчитанный для УФ изображения, составляет величину, равную 0,65.

На рис. 7 представлен последовательный ряд снятых в ночное время кадров, на которых снят куст (первый кадр слева), объект в камуфляже подходит к кусту (второй кадр), объект на фоне куста (третий кадр), объект за кустом (четвёртый кадр).

Возможность пространственной селекции скрытых листвой объектов обусловлена тем, что в отличие от видимого и ИК диапазонов одежда защитного цвета имеет в УФ диапазоне более высокий коэффициент яркости, чем трава и листва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана лазерная система видения ультрафиолетового диапазона, позволяющая эффективно обнаруживать объекты на дистанции до 1000 м. Аппаратное и программное обеспечение представляют широкие возможности для наблюдения, обработки и анализа получаемых изображений и их сравнения с изображениями, имеющимися в библиотеке данных.

Спектральная характеристика ЭОП в составе прибора позволяет работать также в ближнем ИК диапазоне. Получаемая с помощью прибора УФ видения информация существенно дополняет информацию об объектах наблюдения, доступную в ИК и в видимом диапазонах. Разработанную аппаратуру целесообразно использовать в составе мультиспектральных систем наблюдения.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования высокоточных измерительных технологий в области фотоники (ckp.vniiofi.ru), созданного на базе ВНИИОФИ и поддержанного Минобрнауки России в рамках выполнения соглашения № 14.595.21.0003 от 28.08.2017 г. (уникальный идентификатор RFMEFI59517X0003).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Austin Richards.* Near-UV reflectance imaging: applications. The 2008 Photonics Handbook. P. H89–H92.
2. Reflective ultraviolet imaging system // http://horiba.com
3. *Белов М.Л., Городничев В.А., Пашенина О.Е.* Сравнительный анализ мощности входных сигналов лазерных систем локации и видения ультрафиолетового диапазона // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 8. С. 255–263. (http://technomag.bmstu.ru/doc/587120.html)
4. *Груздев В.Н., Иванов В.Н., Суриков И.Н., Шилин Б.В.* Дистанционные наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 5. С. 56–59.
5. *Королев В.В., Падусенко И.И., Танташев М.В., Яцык В.С.* Условия дистанционного обнаружения высокотемпературных источников излучения в ультрафиолетовом диапазоне спектра // Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 1. С. 28–31.
6. *Головков В.А., Солк С.В.* Обнаружение высокоскоростных малоразмерных объектов и бликующих оптических элементов в ультрафиолетовом диапазоне спектра // Оптический журнал. 2017. Т. 84. № 4. С. 61–66.
7. *Балоев В.А., Мишанин С.С., Овсянников В.А., Филиппов В.Л., Якубсон С.Е., Яцык В.С.* Анализ путей повышения эффективности наземных оптико-электронных комплексов наблюдения // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 3. С. 22–32.
8. *Берлизов А.Б., Крутиков В.Н., Лебедев В.Б., Луковников А.А., Фельдман Г.Г.* Наблюдение объектов в ультрафиолетовой области спектра // Труды XXV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Москва. 2018. Т. 1. С. 37–39.