

## О возможности снижения фона рассеяния в пассивных системах видения при наблюдении объектов, излучающих в поляризованном свете

Б.Д. Борисов, П.Г. Стафеев\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 26.12.2009 г.

Рассмотрен простой метод, позволяющий значительно уменьшить влияние фона рассеяния среды при наблюдении пространственных самосветящихся объектов, излучающих в поляризованном свете.

*Ключевые слова:* изображение, поляризация, рассеяние света; imaging, polarization, scattering.

### Введение

Передача информации посредством пространственных оптических сигналов, модулированных мутной средой, сопряжена с известными трудностями. Основная проблема связана с процессами ослабления излучения в веществе среды на трассе наблюдения. В настоящее время современные технологии позволяют строить структуры с заданными свойствами излучения. Это позволяет создавать и выстраивать новые схемы для продолжения исследований в области совершенствования приема и обработки пространственных оптических сигналов при их переносе через замутненные среды. Один из методов, который может способствовать улучшению качества принимаемого сигнала, — это использование поляризованного излучения при передаче оптического сигнала.

Исследования в этом направлении проводятся как в лабораторных, так и в полевых условиях. Так, например, влияние концентрации частиц на изображение объекта, помещенного в рассеивающую модельную среду и облученного линейно поляризованным лазерным излучением, исследовалось в работе [1]. Пассивные методы, улучшающие видение объектов в атмосфере и под водой с применением поляризационных устройств, исследовались в работах [2–4].

Понятие «поляризация» относится к поведению волны в данной точке поля. Поэтому состояние поляризации будет неодинаковым в различных точках поля. Таким образом, волна может быть поляризованной линейно или по кругу в одних точках и эллиптически поляризованной в других. В общем случае изменение векторов поля не является вполне регулярным (или не вполне нерегулярным), и можно сказать, что свет частично поляризован. Такой свет

можно получить из неполяризованного света, например при отражении или рассеянии [5].

Эксперименты с узкими линейно поляризованными пучками при распространении излучения через мутные среды показали, что первоначальная поляризация входного сигнала не меняется. Такую же поляризацию несет однократно рассеянное вперед излучение. Более того, степень поляризации в какой-то мере сохраняется и для многократного рассеяния [6]. Для протяженного линейного объекта с линейной поляризацией излучения доля частично поляризованного рассеянного излучения возрастает с увеличением оптической плотности среды [7].

В работе [8] показано, что рассеяние полностью поляризованного света совокупностью полидисперсных сферических частиц приводит к некоторой частичной поляризации при всех углах рассеяния, за исключением направлений точно назад и вперед. Если же падающее излучение является линейно поляризованным, то процесс рассеяния приводит к частичной или полной линейной поляризации. В полном объеме физика процессов рассеяния и поляризации рассеянного света рассмотрена в работе [9].

В настоящей статье описан метод, который дает возможность существенно понизить влияние фона рассеяния среды при наблюдении пространственных самосветящихся объектов, излучающих поляризованный свет.

Объект наблюдения формировался на экране жидкокристаллического компьютерного монитора с помощью специально разработанной программы. (Схема эксперимента приведена на рис. 1.) Программа генерировала картинку в виде чередующихся черно-белых полос равного размера, ширину которых можно было задавать с клавиатуры компьютера. Излучение от объекта, прошедшее через рассеивающую структуру и поляризатор, регистрировалось ПЗС-камерой. Телевизионный сигнал камеры через адаптер поступал в компьютер.

\* Борис Дмитриевич Борисов (borisov@iao.ru); Павел Георгиевич Стафеев.

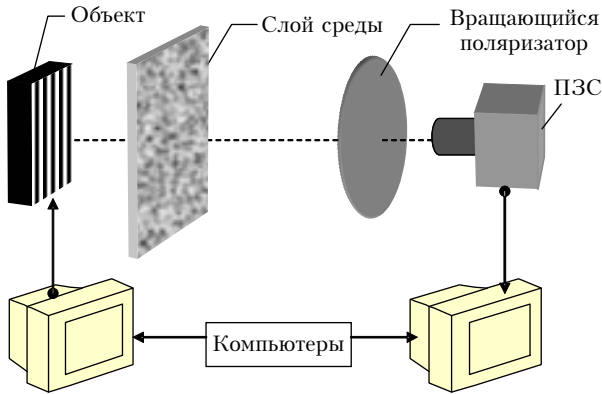


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Как известно, свечение экрана жидкокристаллического компьютерного монитора обладает тем свойством, что излучение его линейно поляризовано в определенной строго фиксированной плоскости. Таким образом, сформированный на экране монитора объект излучал линейно поляризованный свет. На рис. 2 приведены изображения объекта, где анализатор установлен так, что его вектор поляризации перпендикулярен и соответственно параллелен плоскости поляризации излучения объекта.

Периоды полос на объекте устанавливались согласно критериям Джонсона [10], в соответствии с которыми количество периодов в минимальном размере на пределе разрешения около 5 соответствует распознаванию объекта, а около 8 — его идентификации.

Известно, что в построении изображений самосветящегося объекта при прохождении излучения через какое-либо плотное рассеивающее образование основную роль играет прямопрошедшее излучение (баллистические фотоны), которое и создает изображение. За счет рассеяния в плоскости наблюдения формируется фон рассеянного излучения, не несущий информации об объекте. Причем если падающее излучение поляризовано, то прямопрошедшее излучение сохраняет направление поляризации падающего на среду света, а частично поляризованное рассеянное излучение создает аддитивный фон. Используя свойства излучения экрана жидкокристаллического компьютерного монитора и результаты физических процессов при построении изображений через мутные среды, мы применили следующую простую методику частичного устранения аддитивного фона в изображении. Для ее осуществления регистрируют изображения объекта через мутную среду, излучающего линейно поляризованный свет, при двух положениях анализатора приемной ПЗС-камеры. Фиксируются изображения через среду, когда вектор поляризации анализатора параллелен вектору источника и соответственно вектор ему перпендикулярен (т.е. регистрируется фон, созданный частично поляризованным рассеянным излучением). Следующий этап состоит в вычитании изображения, найденного при перпендикулярном векторе, из изображения, полученного при параллельном расположении вектора поляризации.

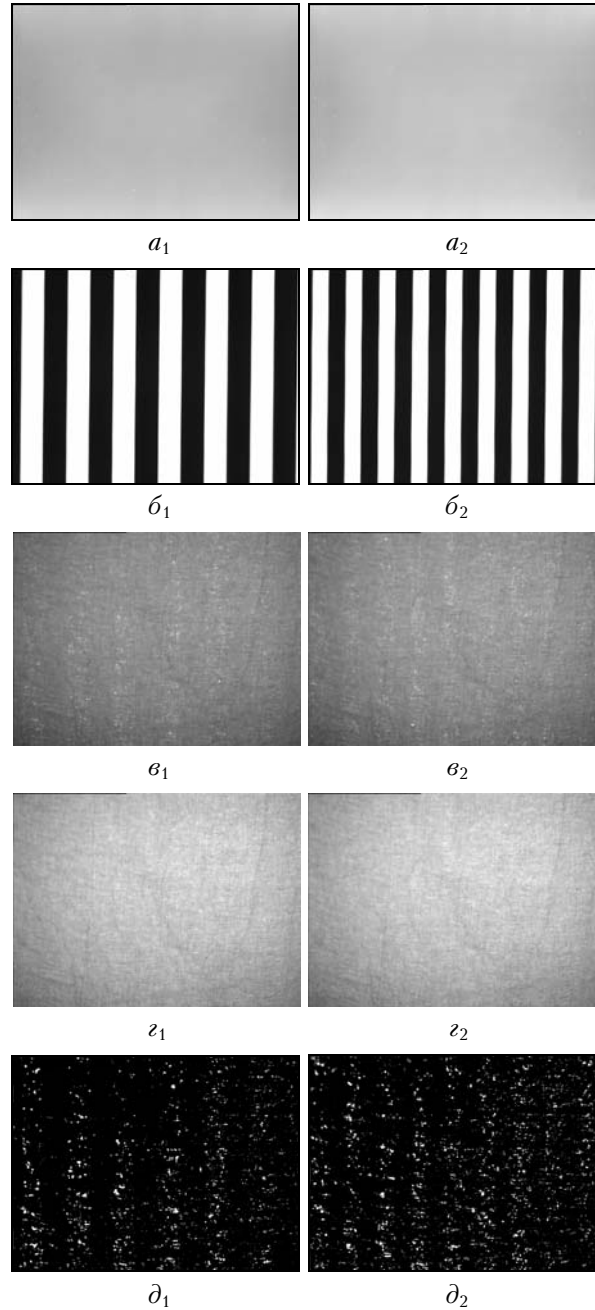


Рис. 2. Изображения объектов с разными пространственными частотами, излучающих линейно поляризованный свет: анализатор установлен перпендикулярно ( $a_1$ ,  $a_2$ ) и параллельно ( $b_1$ ,  $b_2$ ) плоскости поляризации излучения объекта; изображения при установленном перед объектом рассеивающем экране при параллельном ( $в_1$ ,  $в_2$ ) и перпендикулярном ( $z_1$ ,  $z_2$ ) положениях анализатора;  $d_1$ ,  $d_2$  — изображения, очищенные от фона рассеяния

Цифровые технологии и мощности современных компьютеров позволяют проводить просмотр получаемых изображений в режиме реального времени с использованием цифровой обработки и анализа каждого регистрируемого кадра. Рассмотрим специализированный метод обработки видеокладов, основной целью которого является улучшение визуализации изображения путем удаления большей части

аддитивного фона, созданного частично поляризованным рассеянным излучением. Для выполнения таких действий была разработана подпрограмма, в которой последовательность операций обработки представлена на рис. 3.

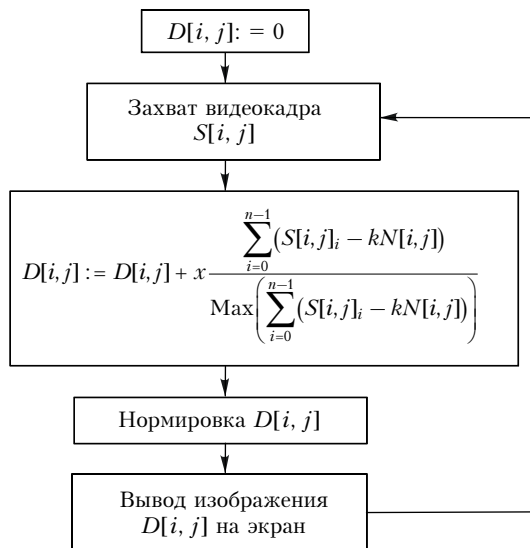


Рис. 3. Алгоритм процедуры формирования изображения

Подпрограмма базировалась на ранее созданном комплексе программ регистрации и обработки изображений слабоинтенсивных объектов [11]. Работа подпрограммы заключалась в следующем. При прохождении линейно поляризованного излучения от объекта через рассеивающий экран устанавливали анализатор в скрещенное положение с плоскостью поляризации на объекте. После этого выполнялась процедура формирования кадра аддитивного фона  $N[i, j]$  путем попиксельного сложения интенсивностей заданного количества  $n$  кадров  $S[i, j]$  с последующей попиксельной нормировкой на максимальное значение в кадре:

$$N[i, j] = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} S[i, j]_i}{\text{Max} \left( \sum_{i=0}^{n-1} S[i, j]_i \right)}. \quad (1)$$

Затем анализатор устанавливался параллельно поляризации на объекте и запускалась процедура формирования изображения с участием прямопрошедшего излучения и фона. Из каждого полученного видеокadra  $S[i, j]$ , по мере его поступления от устройства видеозахвата, вычитался кадр аддитивного фона  $kN[i, j]$ . Регулируемый коэффициент  $k$  необходим для комфортного зрительного восприятия изображения с экрана монитора, поскольку в экспериментах для формирования изображений использовалась телевизионная камера с системой автоматической регулировки усиления, поддерживающей значение средней освещенности в изображении (выходном видеосигнале) неизменным.

В процессе очищения от аддитивного фона кадры складывались с нормировкой к единице в выходном кадре  $xD[i, j]$  ( $x$  – регулируемый коэффициент усиления интенсивности сформированного изображения):

$$D[i, j] = x \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (S[i, j]_i - kN[i, j])}{\text{Max} \left( \sum_{i=0}^{n-1} (S[i, j]_i - kN[i, j]) \right)}. \quad (2)$$

Для демонстрации реальной возможности обсуждавшегося метода были проведены эксперименты. В экспериментах слой мутной среды имитировался набором сложенных стопкой марлевых тканей. Рассеивающий экран состоял из двух слоев. Каждый слой составлялся из четырех полотен марли с промежутком между слоями ~60 мм. Пропускание такой системы, измеренное на длине волны 0,63 мкм, составляет  $\sim 10^{-7}$ . Расстояние между объектом и приемным объективом ПЗС-камеры равнялось 3080 мм. Рассеивающий экран отстоял от объекта примерно на 90 мм.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2. Левый столбец выстроен для количества периодов на объекте, соответствующих его распознаванию, а правый столбец – идентификации объекта. Изображения  $\theta_1, \theta_2$  получены при установке перед объектом рассеивающего экрана и параллельном положении векторов поляризации. Рассеивающий экран значительно сужает спектр пропущенных пространственных частот объекта, существенно снижает контраст в изображении объекта, что, в конечном итоге, вызывает значительное ухудшение качества изображения последнего. Установив поляризатор перпендикулярно вектору поляризации на объекте, регистрируем частично поляризованное рассеянное излучение, изображение которого приведено на фрагментах  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ . Проведя вышеописанные действия с найденными изображениями, находим очищенное от фона изображение, за формирование которого отвечает прямопрошедшее излучение и некоторая область частично поляризованного рассеянного излучения. В результате имеем изображения  $\delta_1, \delta_2$ , приведенные на рис. 2.

Сравнительный анализ изображений объекта и изображений, полученных в результате очистки от рассеянного фона, показывает, что угловые размеры самого объекта и его детали, по крайней мере, могут быть оценены с определенной точностью.

В приведенных экспериментах есть некоторая специфика, связанная с рассеивающим экраном. Поскольку рассеивающие свойства экрана остаются детерминированными, ослабленные прямопрошедшие потоки света при регистрации телевизионного кадра попадают в одну и ту же область пространства изображений. В реальной среде, в силу броуновского движения частиц, конвективного и ветрового перемешивания, прямопрошедшее излучение, формирующее изображение, будет характеризоваться пространственной и временной нестабильностью. Это приводит в случае больших оптических толщ рассеивающей среды к очень слабым световым потокам

прямопрошедшего излучения и, соответственно, к увеличению времени накопления телевизионных кадров для построения изображения. Такая задача может быть решена применением высокочувствительных ПЗС-камер или гибридных приборов в счете фотонов с использованием поляризации [12, 13].

Предполагая, что критерии работы [10] справедливы, можно считать, что эквивалентные по размерам объекты с продольными и поперечными угловыми размерами  $\sim 6 \times 6^\circ$  после примененной обработки могут быть как распознаны, так и идентифицированы.

Итак, полученные результаты подтверждают, что данный метод может быть применен для передачи оптической информации, например, в лесном массиве при сильной фоновой засветке или другой подобной засоряющей трассе среде. В перспективе предполагается провести опробование метода в аэрозольных средах (дымы, туманы и др.).

1. *Morgan S.P., Khong M.P., Somekh M.G.* Effects of polarization state and scatterer concentration on optical imaging through scattering media // *Appl. Opt.* 1997. V. 36. N 7. P. 1560–1565.
2. *Schechner Y.Y., Narasimhan S.G., Nayar S.N.* Instant Dehazing of Images Using Polarization // *Proc. Computer Vision & Pattern Recognition*. 2001. V. 1. P. 325–332.
3. *Chang P.C.Y., Flitton J.C., Hopcraft K.I., Jakeman E., Jordan D.L., Walker J.G.* Improving visibility depth in passive underwater imaging by use of polarization // *Appl. Opt.* 2003. V. 42. N 15. P. 2794–2803.

4. *Schechner Y.Y., Karpel N.* Recovering Scenes by Polarization Analysis // *Proc. MTS / IEEE Oceans'04*. 2004. V. 3. P. 1255–1261.
5. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. М.: Наука, 1970. 855 с.
6. *Зуев В.Е., Кабанов М.В.* Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех). М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
7. *Гаврилович А.Б., Ганич П.Я., Иванов А.П.* Оптическая передаточная функция модели облачного слоя для линейно-поляризованного света // *Ж. прикл. спектроскопии*. 1982. Т. 36. № 1. С. 119–122.
8. *Дейрменджан Д.* Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971. 165 с.
9. *Vorovoï A.G.* Multiple scattering of short waves by uncorrelated and correlated scatterers // *Light Scattering Reviews*. A.A. Kokhanovsky (Ed.), Springer-Praxis, Chichester, UK, 2006. P. 181–252.
10. *Проектирование оптических систем* / Под ред. Р. Шеннона, Дж. Вайанта. М.: Мир, 1983. 430 с.
11. *Борисов Б.Д., Стафеев П.Г.* Разработка программных средств для формирования изображений слабоинтенсивных объектов // *Мат-лы XVI Междунар. симпозиума*. Томск, октябрь, 2009. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2009. С. 234–237.
12. *Борисов Б.Д.* О статистиках фонов рассеяния в пороговых изображениях // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20. № 10. С. 859–862.
13. *Борисов Б.Д.* Влияние слоя дисперсной среды на характер изображений слабоинтенсивного объекта низкого контраста // *Оптика атмосф. и океана*. 2009. Т. 22. № 2. С. 126–131.

***B.D. Borisov, P.G. Stafeev. About possibility to decrease a background of scattering in passive systems of vision at supervision of objects radiating in polarized light.***

A simple method allowing considerable reducing of the influence of a background of medium scattering is considered at supervision of spatial self-luminous objects radiating in polarized light.