

САМОСОГЛАСОВАННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

П.В. Ващурин, В.С. Коряковцев, С.П. Котова, А.Н. Малов, А.Ф. Наумов, А.В. Парфенов

Предложен и экспериментально исследован метод пространственной фильтрации, в котором пропускание фильтра задается самим фильтруемым сигналом. В качестве фильтра использован жидкокристаллический оптически управляемый транспарант.

Значительные трудности при когерентно-оптической обработке информации связаны с синтезом и юстировкой пространственных фильтров. Использование в качестве фильтров жидкокристаллических оптически управляемых транспарантов (ЖК ОУТ) отчасти решает эти задачи: устраняется потребность в юстировке при изменении наклона светового пучка на входе оптической системы, синтез фильтра также осуществляется автоматически в соответствии с изменением оптического сигнала. Существенное влияние на характеристику такого фильтра оказывает выбор режима питания (амплитуды напряжения и частоты). Это позволяет проводить линейную или нелинейную фильтрацию оптических сигналов. Наибольший интерес для обработки изображения представляет нелинейная самосогласованная фильтрация в области пространственного разделения частот, поскольку в этом случае возможно избирательное управление амплитудой и фазой спектральных составляющих оптического сигнала.

В данной работе экспериментально исследуются операции низкочастотной и высокочастотной фильтрации, инверсии контраста и их применение к визуализации фазовых искажений теньвым методом и в автоопорном интерферометре.

Схема экспериментальной установки представляет собой интерферометр Маха — Цендера с фильтром пространственных частот, выполненным на основе ЖК ОУТ (рис. 1). ЖК ОУТ 10 с фотопроводником из сликата висмута имел слой нематического жидкого кристалла толщиной $d = 10$ мкм с исходной твист-ориентацией. Исследуемый оптический сигнал фокусировался линзой 7 на ЖК ОУТ. Плоскость поляризации падающего светового пучка совпадала с плоскостью поляризации светового пучка на выходе из ЖК ОУТ. Это достигалось использованием поляроидов 9 и 11. ЖК ОУТ можно было поворачивать относительно поляроидов. Линза 7 выбиралась исходя из разрешающей способности ЖК ОУТ и размера диска Эйри. Диаметр коллимированного светового пучка с длиной волны $\lambda = 0,44$ мкм, падающего на линзу 7, составлял 10 мм, фокусное расстояние линзы 7 — 1 м. Для получения максимальной видности интерференционной картины во второе плечо интерферометра был установлен поляроид 14 с такой же ориентацией, как и у поляроидов 9, 11.

При фильтрации изображения в описанной экспериментальной установке непрозрачный экран 19 перекрывал плечо интерферометра, а в плоскость 5 помещались различные амплитудные и фазовые маски. В соответствии с пространственным распределением интенсивности падающего света происходит изменение двулучепреломления слоя жидкого кристалла. Это, в свою очередь, приводит к изменению плоскости поляризации и фазы прошедшего через транспарант света. Фазовое пропускание $\Delta\Phi$ такого фильтра хорошо аппроксимируется следующим выражением [1]:

$$\Delta\Phi_m - \Delta\Phi(I) = k \lg(I/I_0), \quad (1)$$

где $\Delta\Phi_m = 2\pi\Delta n d/\lambda$ (Δn — оптическая анизотропия); $k = \partial\Phi/\partial I$ — коэффициент, учитывающий наклон кривой отклика фазовой задержки слоя жидкого кристалла на изменение интенсивности падающего света I ; I_0 — пороговая интенсивность "включения" ЖК ОУТ. Амплитудное пропускание определяется взаимной ориентацией поляроидов 9, 11 и слоя жидкого кристалла с фазовой задержкой $\Delta\Phi$. В общем случае эта зависимость довольно сложная [2].

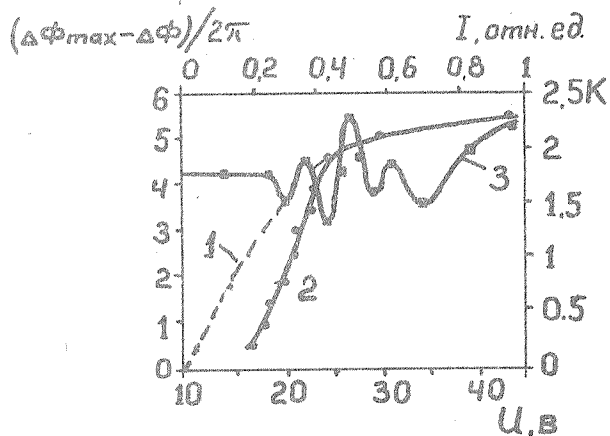
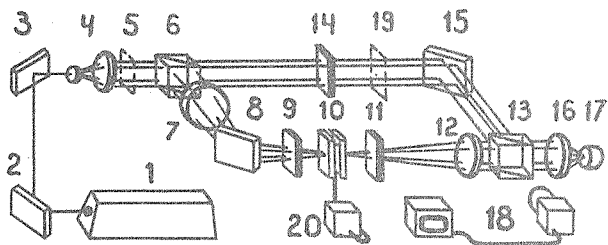


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – He–Cd лазер; 2, 3, 8, 15 – зеркала; 4 – коллиматор; 5 – фазовая или амплитудная маска; 6, 13 – светоделители; 7, 12 – линзы ($F = 1 \text{ м}$); 9, 11, 14 – поляризаторы; 10 – ЖК ОУТ; 16 – линза; 17 – фотодиод; 18 – видеоконтрольное устройство; 19 – непрозрачный экран; 20 – генератор звуковой частоты.

Рис. 2. Характеристики ЖК ОУТ, полученные при освещении сфокусированным пучком. 1) Зависимость фазовой задержки $\Delta\Phi_{\text{м}} - \Delta\Phi$ от интенсивности падающего излучения I ($U = 25 \text{ В}$, мощность излучения изменялась от 0 до 2,3 мВт). 2) Зависимость фазовой задержки от амплитуды питающего напряжения U (мощность падающего излучения 0,9 мВт, частота напряжения питания $f = 710 \text{ Гц}$). 3) Зависимость контраста K выходного изображения от напряжения питания ЖК ОУТ.

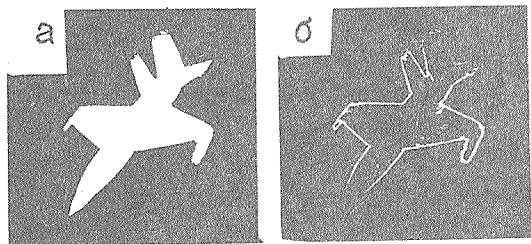


Рис. 3. Фильтрация (оконтуривание) изображения (а – исходное изображение).

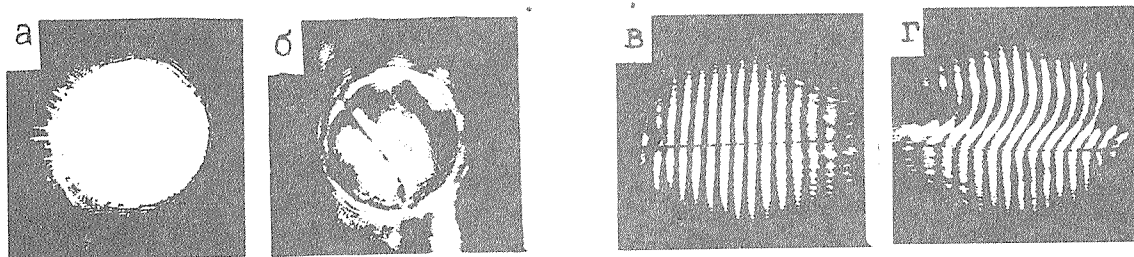


Рис. 4. Визуализация фазовых неоднородностей: а, б – пластинка слюды в качестве объекта; в, г – интерферограммы фазовых искажений, вызванных нагретой проволокой (а, в – ЖК ОУТ выключен; б, г – включен).

Управление интенсивностью оптического сигнала возможно лишь за счет его ослабления, т.е. в направлении линеаризации характеристики фазового пропускания, тогда как управление режимом питания, в частности, амплитудой напряжения, предоставляет более широкие возможности выбора характера нелинейности фазового пропускания. На рис. 2 представлены экспериментальные кривые зависимости фазового пропускания от интенсивности света (кривая 1) и приложенного напряжения (кривая 2). Амплитудное пропускание подбиралось в каждом эксперименте вращением ЖК ОУТ.

Рассмотрим некоторые приложения самосогласованной фильтрации изображений. Управление контрастом изображения (и его оконтуривание) может быть достигнуто за счет различного амплитудно-фазового пропускания для различных пространственных частот спектра оптического сигнала. В эксперименте по управлению контрастом объектом служили два близких по плотности светофильтра СЗС-24 и СЗС-25, размещенных рядом во входной плоскости 5. Направление директора ЖК на входной плоскости ОУТ составляло угол 45° с плоскостью поляризации падающего излучения. При изменении напряжения питания ЖК ОУТ наблюдалось изменение отношения интенсивностей в плоскости изображения, которое регистрировалось фотоприемником 17 (рис. 2, кривая 3). На рис. 3а,б показан пример оконтуривания изображения при фильтрации нулевой пространственной частоты.

При подавлении интенсивности оптического сигнала в нулевой пространственной частоте (директор ЖК на входной плоскости параллелен плоскости поляризации излучения) будет наблюдаться визуализация фазовых искажений волнового фронта. Это известный принцип работы теневых приборов. Однако теневой прибор с ЖК ОУТ обладает несомненным преимуществом — устойчивостью к разъюстировке по наклонам. Так как амплитудно-фазовое пропускание ЖК ОУТ связано с интенсивностью нелинейно (1), то распределение интенсивности датчика волнового фронта в общем случае сложным образом зависит от распределения фазы входного оптического сигнала. По этой причине данное устройство в большей степени подходит для качественных наблюдений фазовых искажений. На рис. 4а, б приведен пример визуализации фазовых неоднородностей пластинки слюды.

При измерении фазовых искажений на трассах, превышающих длину когерентности зондирующего светового пучка, например, для диагностики атмосферных фазовых искажений, применяется автоопорный интерферометр [3]. В нем опорная волна выделяется из искаженной путем фильтрации на точечной диафрагме. Самосогласованная фильтрация для выделения опорной волны более предпочтительна, особенно в условиях динамических флуктуаций атмосферы.

Часть исходного светового пучка, отцепленная с помощью светоделительного кубика 6 (рис. 1), фокусировалась на ЖК ОУТ. Для данной интенсивности света в нулевой пространственной частоте напряжение на ЖК ОУТ выбиралось таким, чтобы пропустить свет только через область диска Эйри. Это приводило к формированию опорной волны, которая на светоделительном кубике 13 интерферировала с другой частью исходной волны (непрозрачный экран 19 был убран из предметного плеча интерферометра). Фазовые искажения вводились нагретой проволокой, расположенной в плоскости 5. При выключенном питании ЖК ОУТ интерферометр работает как сдвиговый, и искажения волнового фронта вызывают деформацию интерференционных полос, пропорциональную производной изменения фазы в направлении сдвига. Интерферограмма, представленная на рис. 4в, получена при горизонтальном сдвиге интерферометра для выключенного ЖК ОУТ, тогда как искажения волнового фронта, вызванные нагретой проволокой, происходят в вертикальном направлении. Рис. 4г демонстрирует работу автоопорного интерферометра (питание на ЖК ОУТ включено).

Таким образом, предложенный метод самосогласованной фильтрации экспериментально опробован в ряде практических приложений. Отметим, что во многих случаях для фильтрации достаточно использовать лишь небольшой участок прозрачного материала, на котором легче добиться однородности оптических свойств при его изготовлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., Наука, 1978, с. 141.
2. Gara A. D. Appl. Optics, 17, 3696 (1978).
3. Baretet N. James Z. T. SPIE, 228, 4 (1980).

Поступила в редакцию 18 июня 1987 г.