

Макет инвариантного коррелятора с использованием жидкокристаллических пространственно-временных модуляторов света

Н.Н.Евтихийев, С.Н.Стариков, Е.Д.Проценко, Е.Ю.Злоказов,
И.В.Солякин, Р.С.Стариков, Е.А.Шапкарина, Д.В.Шаульский

Представлены результаты экспериментов по инвариантному распознаванию изображений на базе макета когерентного голографического коррелятора с жидкокристаллическими пространственно-временными модуляторами света, используемыми в качестве устройств ввода.

Ключевые слова: распознавание изображений, оптоэлектронный коррелятор, инвариантный корреляционный фильтр, компьютерно-синтезированная голограмма, пространственно-временной модулятор света.

1. Введение

Применение современных пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) в качестве устройств ввода в схемах оптико-электронных корреляторов изображений позволяет достичь скоростей обработки до 10^{13} операций с целыми числами в секунду и выше. Возможности достижения столь высоких скоростей обработки обуславливают интерес к разработке и применению подобных систем. Использование инвариантных корреляционных фильтров (КФ) [1, 2] является эффективным способом достижения инвариантности корреляционного распознавания изображений при наличии искажений распознаваемого объекта относительно эталонного (таких как поворот, изменение масштаба, изменение условий освещённости и т. п.) и позволяет повысить скорость и гибкость корреляционного распознавания. КФ в оптической схеме коррелятора представляется синтезированным дифракционным объектом – статической или формируемой при помощи ПВМС голограммой. В настоящей работе представлены результаты синтеза КФ и экспериментов по их применению при корреляционном распознавании изображений в схеме когерентного голографического коррелятора Ван дер Люгта, использующего в качестве устройств ввода жидкокристаллические ПВМС.

2. Схема макета

Схема макета представлена на рис.1. Источником излучения служил Nd:YVO₄-лазер, генерирующий вторую гармонику с длиной волны 0.53 мкм и мощностью 30 мВт.

Н.Н.Евтихийев, С.Н.Стариков, Е.Д.Проценко, Е.Ю.Злоказов, И.В.Солякин, Р.С.Стариков, Е.А.Шапкарина, Д.В.Шаульский. Московский инженерно-физический институт (Национальный исследовательский ядерный университет), Россия, 115409 Москва, Каширское ш., 31; e-mail: evtkhiev@mail.ru, edprotsenko@mephi.ru, rstarikov@mail.ru

Поступила в редакцию 5 июля 2012 г., после доработки – 29 сентября 2012 г.

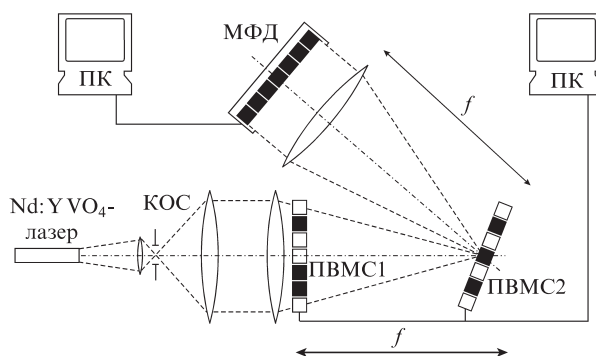


Рис.1. Схема экспериментальной установки с использованием пространственно-временных модуляторов света (поляризаторы на схеме не показаны).

Контроль интенсивности и состояния поляризации лазера осуществлялся с помощью двух скрещенных поляризаторов. Излучение лазера, сформированное коллимирующей оптической системой с блоком очистки КОС, поступало на первый фурье-каскад системы. Для ввода входного изображения использовался ПВМС1 (Holoeye LC2002), работающий в режиме модуляции интенсивности на просвет (размер модулятора 1024 × 768 пиксел., размер пиксела 32 мкм). Голографический фильтр (фурье-голограмма) вводился в общей фокальной плоскости первого и второго фурье-каскадов при помощи ПВМС2 (Holoeye Pluto VIS), работавшего в режиме фазовой модуляции на отражение (размер модулятора 1920 × 1080 пиксел., размер пиксела 8 мкм). ПВМС2 был установлен на оправе с микрометрическим отсчетом, поворачивающейся вокруг оптической оси. Оба ПВМС управлялись персональными компьютерами ПК стандартной комплектации. В качестве приёмника изображений, формируемых вторым фурье-каскадом коррелятора, использовался матричный фотодетектор МФД стандартной зеркальной цифровой фотокамеры с разрешением 10 Мпиксел. Выходные сигналы коррелятора записывались в виде полутоновых изображений с градациями серого 16 бит в raw-формате.

3. Синтез и реализация голографических фильтров

При проведении экспериментов по распознаванию изображений использовались два типа КФ – для бинарных контурных изображений и для полутоновых изображений. В обоих случаях для КФ рассчитывалась соответствующая фурье-голограмма (голографический фильтр). Отклик голограмм содержит пространственно разделённые области с δ -функцией в нулевом порядке и с двумя сопряжёнными изображениями исходного КФ в +1-м и -1-м дифракционных порядках.

Для распознавания бинарных контурных изображений был синтезирован инвариантный корреляционный фильтр с линейным фазовым коэффициентом (КФ ЛФК) [3], обеспечивающий инвариантность к повороту. Был рассчитан соответствующий голографический фильтр, различные варианты которого (с ограничением числа градаций пропускания, бинаризованный) [4] выводились на ПВМС. Примеры обрабатываемого бинарного контурного изображения, распределения вещественной части фильтра, рассчитанный отклик голографического фильтра и измеренный отклик голографического фильтра, введённого при помощи ПВМС2 (рис.2), демонстрируют возможности реализации КФ ЛФК для распознавания бинарных контурных изображений.

Аналогично в случае полутоновых изображений был синтезирован инвариантный корреляционный фильтр с минимумом средней энергии корреляции со сглаживающей функцией Гаусса (КФ МСЭКГ) [5]. Синтезированный КФ МСЭКГ обеспечивает инвариантность корреляционного пика в условиях поворота входного полутонового изображения. Для полученного КФ МСЭКГ был рассчитан соответствующий голографический фильтр. Примеры обрабатываемого полутонового изображения, распределения вещественной части фильтра, рассчитанный отклик голографического фильтра и измеренный отклик голографического фильтра, введённого при помощи ПВМС2 (рис.3), демонстрируют возможности реализации фильт-

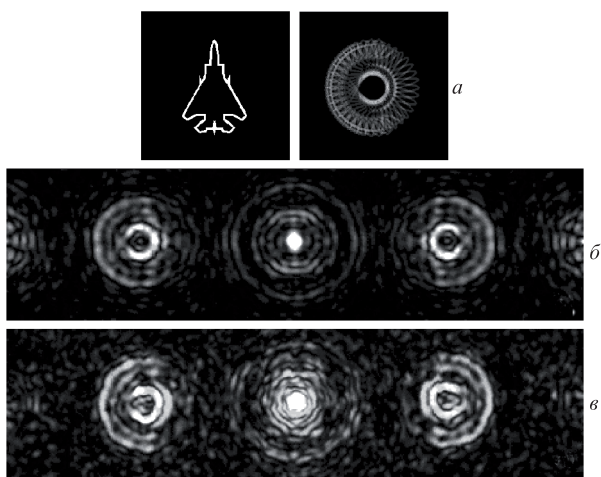


Рис.2. Распознаваемое изображение, инвариантный КФ и оптический отклик КФЛФК. Бинарное контурное изображение и распределение вещественной части КФ с линейным фазовым коэффициентом (инвариантность к повороту в диапазоне 180°) (а), рассчитанный отклик соответствующего голографического фильтра, бинаризованного по методу Отсу (б), и измеренный отклик голографического фильтра, бинаризованного методом Отсу и введённого с помощью ПВМС2 (в).

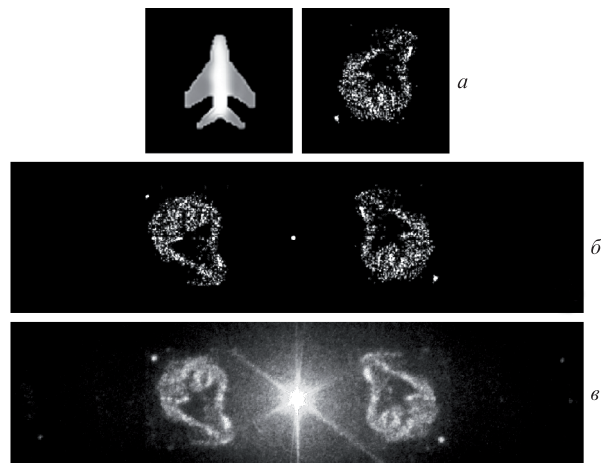


Рис.3. Распознаваемое изображение, инвариантный КФ и оптический отклик КФ МСЭКГ. Полутоновое изображение и распределение вещественной части корреляционного фильтра с минимумом средней энергии корреляции со сглаживающей функцией Гаусса (инвариантность к повороту в диапазоне 90°) (а), рассчитанный отклик соответствующего голографического фильтра (б) и измеренный отклик голографического фильтра, введённого с помощью ПВМС2 (в).

ров КФ МСЭКГ для распознавания полутоновых изображений.

4. Сигналы макета

В ходе проведения экспериментов регистрировались оптические сигналы в выходной плоскости установки. Выходное поле коррелятора содержит пространственно разделённые входное изображение в нулевом порядке и области свёртки и корреляции в +1-м и -1-м дифракционных порядках соответственно. Эксперименты продемонстрировали сохранение корреляционного пика при повороте входного изображения в полном угловом диапазоне, заложенном при синтезе КФ.

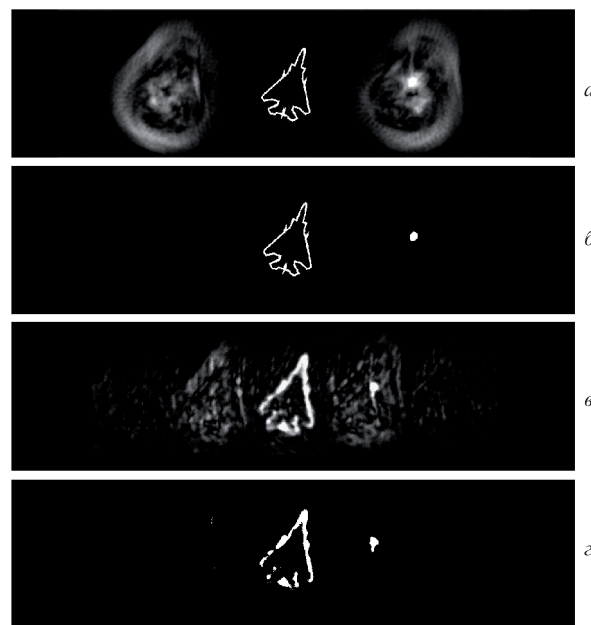


Рис.4. Выходные сигналы макета коррелятора: расчёт (а), расчёт (порог 0.8) (б), эксперимент (в) и эксперимент (порог 0.8) (г). Использован голографический фильтр, бинаризованный по методу Отсу.

На рис.4 показаны рассчитанные при численном моделировании и измеренные при проведении экспериментов оптические сигналы в выходной плоскости коррелятора. Как видно из рисунка, полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами математического моделирования.

5. Заключение

Создана экспериментальная установка когерентного коррелятора, использующего жидкокристаллические пространственно-временные модуляторы света в качестве устройств ввода входных изображений и инвариантных корреляционных фильтров. Экспериментально показана возможность реализации двух типов инвариантных корреляционных фильтров: с минимизацией энергии корреляции для обработки полутонных изображений и с ли-

нейным фазовым коэффициентом для обработки бинарных контурных изображений. Представленные результаты макетирования демонстрируют возможность достижения инвариантности корреляционного пика при применении инвариантных корреляционных фильтров, реализованных в виде синтезированных фурье-голограмм.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и РФФИ.

1. Vijaya Kumar B.V.K., Mahalanobis A., Juday R. *Correlation Pattern Recognition* (Cambridge: Cambridge University Press, 2005).
2. Vijaya Kumar B.V.K. *Appl. Opt.*, **31**, 4773 (1992).
3. Hassebrook L., Vijaya Kumar B.V.K., Hostetler L. *Opt. Eng.*, **29**, 1033 (1990).
4. Evtikhiev N.N., Starikov S.N., Shaulskiy D.V., Starikov R.S., Zlokazov E.Yu. *Opt. Eng.*, **50**, 065803 (2011).
5. Casasent D., Ravichandran G., Bollapraggada S. *Appl. Opt.*, **30**, 5176 (1991).