

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИНВАРИАНТНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ НА БАЗЕ ФАЗОВОГО ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО МОДУЛЯТОРА СВЕТА

Д. С. Гончаров, Е. Ю. Злоказов, Е. К. Петрова,
Н. М. Пономарев, Р. С. Стариков

В данной работе рассмотрен метод реализации инвариантных корреляционных фильтров в виде голографических фильтров в схеме оптико-цифрового коррелятора изображений с помощью фазового жидкокристаллического пространственно-временного модулятора света. Представлены результаты моделирования корреляционного распознавания полутоновых изображений с использованием голографических корреляционных фильтров. Также представлены результаты экспериментальной реализации голографических корреляционных фильтров с помощью фазового жидкокристаллического пространственно-временного модулятора света.

Ключевые слова: ЖК ПВМС, оптико-цифровой коррелятор, голография, инвариантный корреляционный фильтр.

Введение. Корреляционный метод является одним из наиболее перспективных методов распознавания изображений [1]. Преимуществом этого метода является возможность оперативной реализации распознавания изображений в схемах оптико-цифровых дифракционных корреляторов. На рис. 1 представлена широко известная схема коррелятора Ван дер Люгта [2].

В плоскостях T_{in} и T_f находятся пространственно-временные модуляторы света (ПВМС), на которые выводятся соответственно распознаваемое изображение и эталон

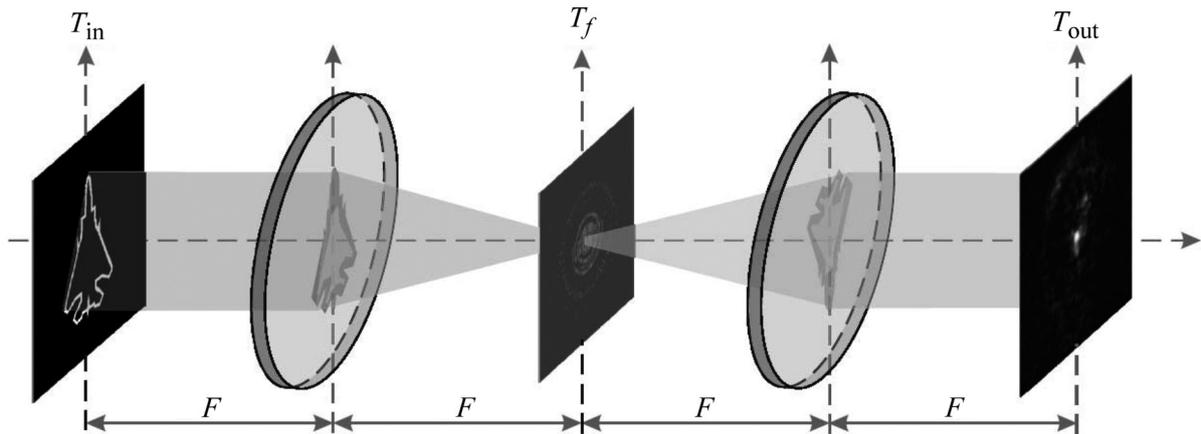


Рис. 1: Коррелятор Вандер Люгта.

(голографический корреляционный фильтр). В плоскости T_{out} формируется корреляционный отклик, проанализировав который, можно сделать вывод о принадлежности распознаваемого изображения к классу изображений истинных или ложных объектов. Скорость работы такого устройства определяется количеством пикселей и скоростью работы используемых ПВМС и в настоящее время может достигать тысяч кадров в секунду. В данной работе исследуется фазовый жидкокристаллический (ЖК) ПВМС в качестве устройства ввода эталонов в оптическую систему.

Голографический инвариантный корреляционный фильтр. В качестве эталона используется голографический или исходный корреляционный фильтр (ГКФ или исходный КФ) с минимальными шумом и энергией корреляции (МШЭК, MINACE – minimum noise and correlation energy). Исходный корреляционный фильтр синтезируется из набора изображений эталонного объекта, что обеспечивает инвариантность к таким искажениям, как поворот, наличие шумов и т.п. [1, 3, 4].

Корреляционный фильтр в общем случае является комплексной матрицей, обеспечивающей фильтрацию в области пространственных частот. Одним из способов, позволяющих вывести такой объект на ПВМС, является синтез голограммы Фурье.

Синтез амплитудной голограммы Фурье исходного корреляционного фильтра (голографического корреляционного фильтра (ГКФ)) выполняется по формуле:

$$H_{\text{holo}}(x, y) = \text{Re}[H'(x, y)] - \min(\text{Re}[H'(x, y)]). \quad (1)$$

Матрица H' создается следующим образом. Обратное преобразование Фурье корреляционного фильтра помещается в пустую матрицу, размеры которой превосходят

размеры исходной матрицы в 4 раза, в область, смещенную от центра на четверть размеров итоговой матрицы H' вверх и влево. Затем производится преобразование Фурье всей матрицы. Такой подход позволяет оптимальным способом разделить области матрицы так, чтобы их перекрытие при восстановлении не ухудшало результаты корреляционного распознавания. После получения матрицы H_{holog} производится квантование её уровней пропускания до 256 уровней (8 бит) для того, чтобы голограмму было возможно вывести на ПВМС.

Корреляционное распознавание изображений с использованием голографического инвариантного корреляционного фильтра. Распознаваемыми являются изображения танков T72, Abrams, Leopard и Chieftain. Всего было использовано 16 наборов изображений, помещённых на различные фоны и представленных с различным разрешением (от 256×256 до 32×32 пикс). Примеры изображений представлены на рис. 2.

КФ синтезировался из тренировочного набора изображений танков T72, истинным объектом являлся тестовый набор изображений танков T72, ложными объектами являются наборы изображений остальных танков.

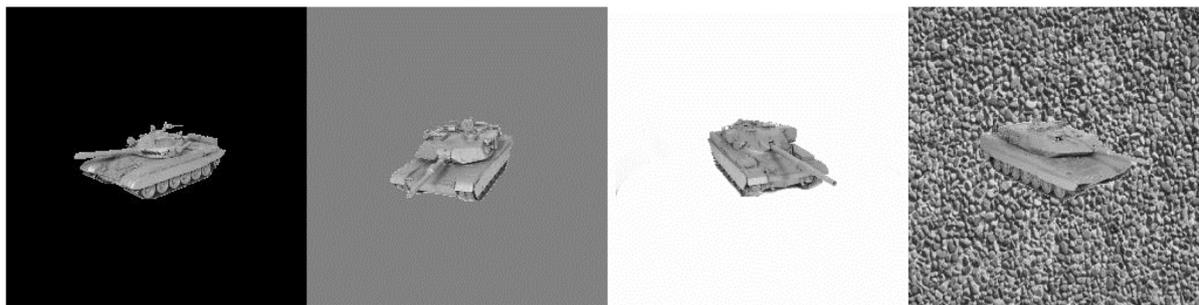


Рис. 2: Примеры распознаваемых изображений.

Для всех наборов изображений было выполнено моделирование корреляционного распознавания в следующих случаях: “идеальный” случай (использовался исходный КФ), “амплитудная голограмма” (использовался амплитудный ГКФ, синтезированный по формуле (1)) и “фазовая голограмма” (использовался фазовый ГКФ). Для того чтобы получить фазовый ГКФ, амплитудный ГКФ преобразуется по формуле (2):

$$H_{\text{ph}}(x, y) = \exp \left[i \left(\frac{\chi}{255} H_{\text{amp}}(x, y) \right) \right], \quad (2)$$

где H_{amp} – амплитудный ГКФ, H_{ph} – фазовый ГКФ, χ – глубина модуляции фазы. Поскольку современные фазовые ПВМС способны производить максимальный фазовый

сдвиг модулируемого излучения вплоть до 8π , было проведено несколько вариантов моделирования при различной глубине модуляции фазы. В табл. 1 приведены средние вероятности ошибки корреляционного распознавания для всех наборов изображений для каждого случая, ошибка распознавания оценивалась по критерию Неймана–Пирсона.

Т а б л и ц а 1

Результаты моделирования корреляционного распознавания полутоновых изображений для всех случаев

	Идеальный случай	Амплитудная голограмма	Фазовая голограмма							
			1 π	1.5 π	2 π	3 π	4 π	5 π	6 π	8 π
Глубина модуляции	–	8 бит								
Средняя вероятность ошибки распознавания, %	4.6	3.6	3.3	3.1	2.9	3.0	3.5	4.4	6.3	7.6

Результаты моделирования показали, что использование ГКФ улучшает результаты корреляционного распознавания, при этом фазовые ГКФ с глубиной модуляции 2π обеспечивают наименьшую среднюю вероятность ошибки корреляционного распознавания. Стоит отметить, что в отдельных случаях вероятность ошибки распознавания уменьшалась более чем в 2 раза при использовании ГКФ по сравнению с “идеальным” случаем.

Численное и экспериментальное восстановление голографических инвариантных корреляционных фильтров. Были проведены моделирование и эксперименты по восстановлению распределения интенсивности исходного КФ по ГКФ. На рис. 3 представлена схема экспериментальной установки. Лазерное излучение попадает на систему из линз L1, L2 и микродиафрагмы, представляющую собой коллиматор. Коллимированный лазерный пучок освещает фазовый ЖК ПВМС. В работе использован фазовый ЖК ПВМС Holoeye Pluto VIS, с разрешением 1920×1080 пикс, работающий на отражение. На ПВМС выводится синтезированный ГКФ. Отраженное излучение фокусируется линзой L3 на фотокамере. Фотокамера регистрирует изображение КФ, восстановленное по голограмме.

На рис. 4(а) представлено изображение синтезированного ГКФ. На рис. 4(б) и 4(в) представлены КФ, восстановленные по ГКФ соответственно численно и экспериментально. Резкость, контраст и масштаб изменены.

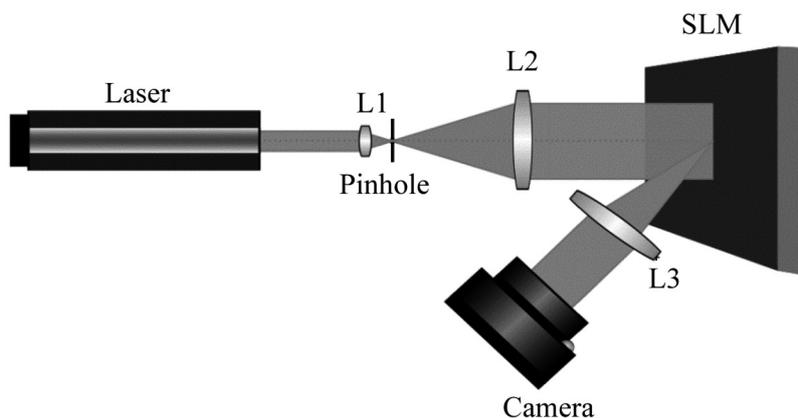


Рис. 3: Схема экспериментальной установки.

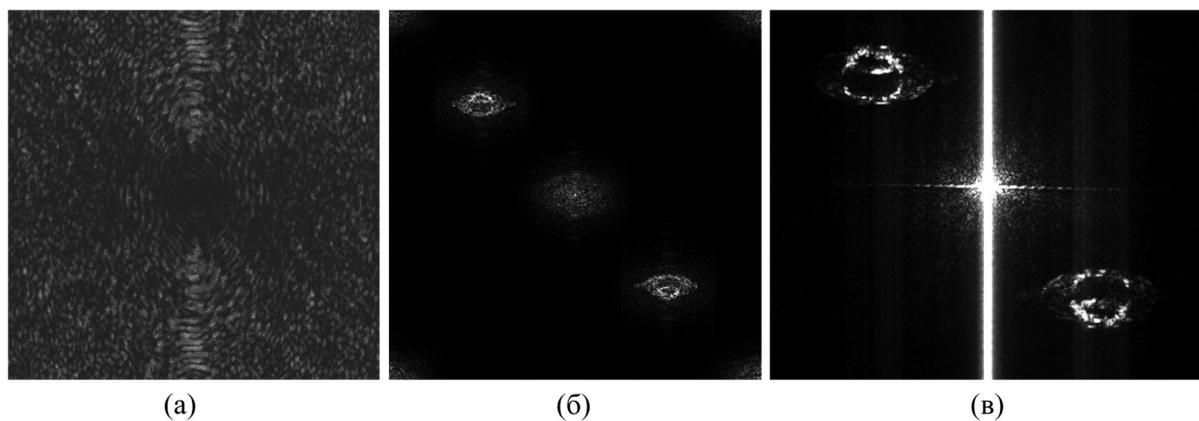


Рис. 4: Синтезированный ГКФ (а) и восстановленные КФ численно (б) и экспериментально (в).

Экспериментально восстановленное световое распределение в КФ соответствует распределению, полученному численным восстановлением. Для подтверждения результатов была выполнена серия аналогичных экспериментов, продемонстрировавших подобное соответствие.

Заключение. Таким образом, рассмотренная методика реализации голографических корреляционных фильтров показывает хорошие результаты при моделировании корреляционного распознавания. Обеспечивается снижение средней вероятности ошибки распознавания с 4.6% при использовании исходных корреляционных фильтров до 2.9% при использовании фазовых голографических корреляционных фильтров.

Работа проведена при поддержке РФФИ, проект № 17-07-00254.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] B. V. K. Vijaya Kumar, Abhijit Mahalanobis, and Richard D. Juday, *Correlation pattern recognition* (Cambridge University Press, 2005).
- [2] A. V. Lugt, *IEEE Transactions on Information Theory* **10**(2), 139 (1964).
- [3] G. Ravichandran, *Applied Optics* **31**(11), 1823 (1992).
- [4] N. N. Evtikhiev, *Proceedings of SPIE* **8398**, 83980G (2012).

Поступила в редакцию 18 января 2019 г.

После доработки 29 марта 2019 г.

Принята к публикации 29 марта 2019 г.

Публикуется по результатам XVI Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции по оптике и лазерной физике (Самара).