

## 71. Реализация голограмм Фурье с использованием высокопроизводительного микрозеркального ПВМС

*Д. С. Гончаров, Н. М. Пономарев, Р. С. Стариков*

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Представлены результаты численного и оптического восстановления бинарных голограмм Фурье, для оптического восстановления использован микрозеркальный пространственно-временной модулятор света Texas Instruments Discovery 4100.

*Ключевые слова:* Голография, Компьютерно-синтезированная голограмма, Голограмма Фурье, Корреляционный фильтр, Микрозеркальный пространственно-временной модулятор света.

*Цитирование:* **Гончаров, Д. С.** Реализация голограмм Фурье с использованием высокопроизводительного микрозеркального ПВМС / Д. С. Гончаров, Н. М. Пономарев, Р. С. Стариков // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 388–391.

В настоящее время микрозеркальные пространственно-временные модуляторы света (МЗ ПВМС) являются наиболее быстродействующими средствами пространственной модуляции света, и обеспечивают бинарную амплитудную модуляцию излучения при разрешении в Мпикс с частотой в десятки кГц. Столь высокие характеристики МЗ ПВМС определяют высокую перспективность их применения в динамических голографических системах, таких как системы оперативного формирования заданных световых распределений различного назначения и оптические корреляторы изображений.

В данной работе представлены результаты предварительных экспериментов по реализации компьютерно синтезированных голограмм Фурье с помощью МЗ ПВМС. Эксперименты проводились для голограмм контурных и полутоновых изображений, а также для голограмм, формирующих распределения, соответствующие инвариантным корреляционным фильтрам. В работе использован серийный МЗ ПВМС Texas Instruments Discovery 4100, базирующийся на чипе DLP9500BFLN, такой модулятор обеспечивает разрешение  $1920 \times 1080$  пикс и частоту смены кадра свыше 20 кГц,

Реализация компьютерно-синтезированных голограмм с помощью МЗ ПВМС предполагает два этапа: вначале необходимо синтезировать амплитудную голограмму Фурье с большой глубиной модуляции, после чего бинаризовать её.

Для заданного распределения интенсивности (изображения) или амплитуды и фазы (корреляционный фильтр)  $H$  голограмма Фурье может быть синтезирована по формуле:

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

где  $H'$  — матрица, получаемая путём помещения матрицы  $H$  на пустое поле, превосходящее по размерам в 4 раза, в область, сдвинутую от центра на четверть размеров итоговой матрицы



а) центральная часть голограммы      б) изображение, восстановленное по голограмме  
 Рис. 1. Результаты синтеза и компьютерного восстановления голограммы Фурье для изображения «Лена»

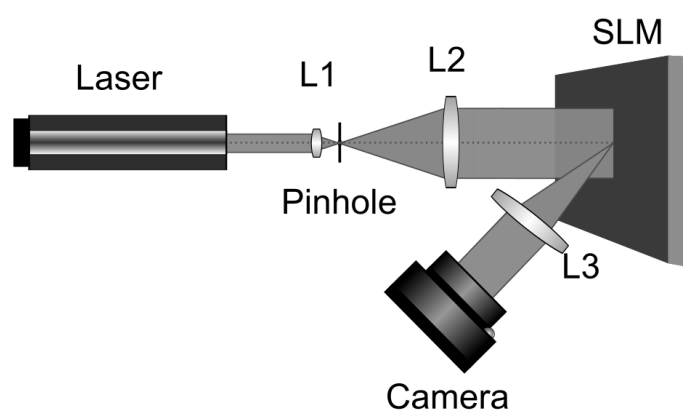
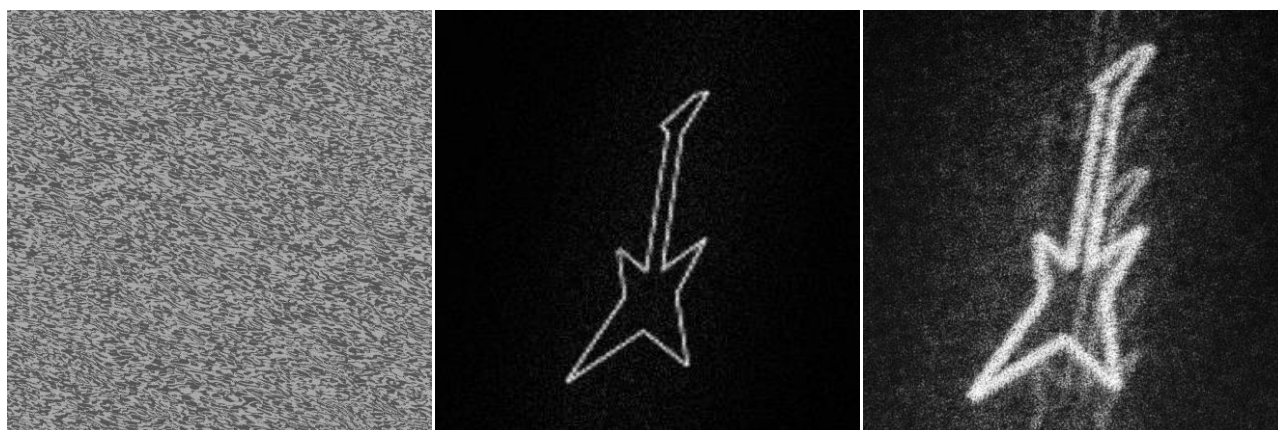


Рис. 2. Экспериментальная установка для восстановления голограмм Фурье

$H'$  [1]. Полученная голограмма может быть восстановлена как численно (модуль от обратного преобразования Фурье), так и оптически (по стандартной схеме восстановления голограмм Фурье). На рисунке 1 представлены результаты синтеза и компьютерного восстановления голограммы Фурье для изображения «Лена». На рисунке 2 представлена экспериментальная установка для восстановления изображений по голограммам Фурье. Плоский лазерный пучок, полученный с помощью коллиматора, состоящего из микрообъектива L1, микродиафрагмы и линзы L2, освещает поверхность МЗ ПВМС. Отражённый МЗ ПВМС модулированный пучок направляется в линзу L3, в результате чего в её задней фокальной плоскости можно наблюдать восстановленное изображение.

Рисунок 1б демонстрирует, что качество восстановления оставляет желать лучшего. Существуют различные методы улучшения качества восстановления голограммы Фурье. Одним из таких методов является мультиплицирование, применимое для любых объектов. Мультиплицированная голограмма представляет собой набор одинаковых голограмм меньшего размера, расположенных симметрично на одном изображении. Такой подход позволяет получить лучшее качество восстановления изображений по голограммам. Для амплитудных объектов эффективным может быть добавление каждому пикселю случайно (0 или  $\pi$ ) фазы.



а) бинаризованная голограмма

б) численно восстановленная голограмма

в) оптически восстановленная голограмма

Рис. 3. Синтез, бинаризация и восстановление голограммы для контурного объекта



а) бинаризованная голограмма

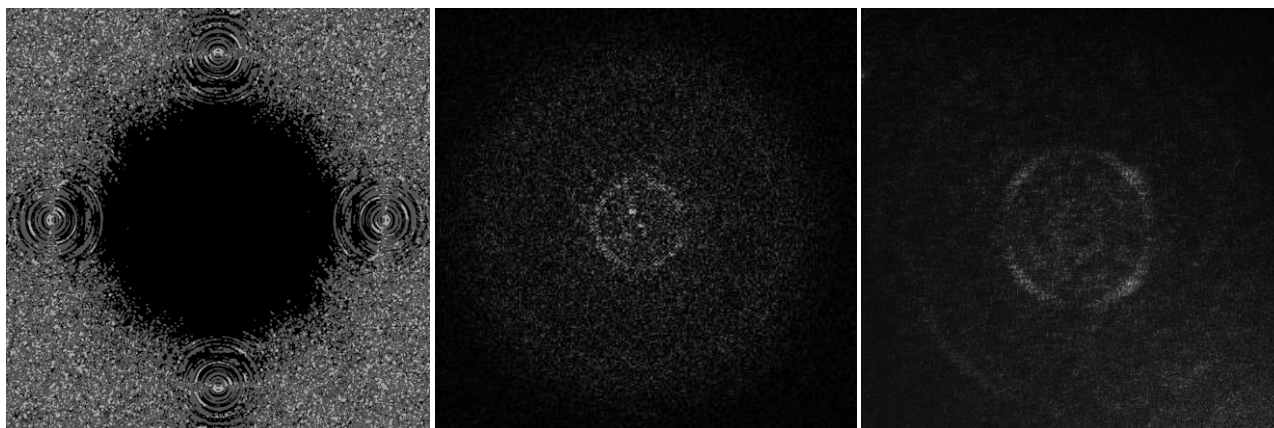
б) численно восстановленная голограмма

в) оптически восстановленная голограмма

Рис. 4. Синтез, бинаризация и восстановление голограммы для полутонного объекта

Также, поскольку полученные голограммы представляют полутонные амплитудные объекты, их необходимо перевести в бинарный вид. Для этого могут быть использованы различные методы бинаризации [2,3]. Нами были исследованы различные методы бинаризации голограмм, и эксперименты показали, что наилучшим образом в среднем восстанавливаются голограммы, бинаризованные методом Брэдли.

На рисунке 3 представлены результаты синтеза бинаризованных методом Брэдли мультиплицированных голограмм контурных изображений, а также результаты численного и оптического восстановления синтезированных голограмм. На рисунке 4 представлены результаты синтеза бинаризованных методом Брэдли мультиплицированных голограмм полутонных изображений с добавлением случайной фазы, а также результаты численного и оптического восстановления синтезированных голограмм. Корреляционный фильтр, в общем случае, является комплексным объектом, поэтому при синтезе соответствующей ему голограммы Фурье нет возможности добавить случайную фазу [4, 5]. На рисунке 5 представлен



а) бинаризованная  
голограмма

б) численно  
восстановленная  
голограмма

в) оптически  
восстановленная  
голограмма

Рис. 6. Синтез, бинаризация и восстановление голограммы для корреляционного фильтра

пример синтезированной и бинаризованной голограммы Фурье корреляционного фильтра, а также результаты численного и оптического восстановления изображений по этой голограмме.

Таким образом, в данной работе описаны способы синтеза бинаризованных голограмм Фурье изображений и представлены результаты численного и оптического восстановления изображений по синтезированным голограммам. Как можно видеть по результатам экспериментов, изображения восстанавливаются в приемлемом качестве, сравнимом с качеством численно восстановленных изображений.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 17-07-00829 А.

### Список источников

- [1] **Гончаров, Д. С.** 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 // Краткие сообщения по физике ФИАН. — 2019. — № 4. — С. 27–32.
- [2] **Evtikhiev, N. N.** Invariant correlation filter with linear phase coefficient holographic realization in 4-F correlator / N. N. Evtikhiev, S. N. Starikov, D. V. Shaulskiy, R. S. Starikov, E. Yu. Zlokazov // Opt.Eng. — 2011. — Vol. 50. — P. 065803
- [3] **Cheremkhin, P. A.** Comparative appraisal of global and local thresholding methods for binarisation of off-axis digital holograms / P. A. Cheremkhin, E. A. Kurbatova // Optics and Lasers in Engineering. — 2019. — Vol. 115. — P. 119
- [4] **Vijaya Kumar, B. V. K.** Correlation pattern recognition / B. V. K. Vijaya Kumar, A. Mahalanobis, R. D. Juday — Cambridge, U. K.: Cambridge University Press, 2005. — 390 p.
- [5] **Shaulskiy, D. V.** Variants of light modulation for MINACE filter implementation in 4-F correlators / D. V. Shaulskiy, N. N. Evtikhiev, E. Y. Zlokazov, S. N. Starikov, R. S. Starikov, E. K. Petrova, D. Y. Molodtsov // Proc. of SPIE. — 2015. — Vol. 9598. — P. 95980T.