

Многоволновая цифровая голография на основе мультимастотной акустооптической фильтрации излучения

О. В. Польщикова, А. В. Горевой, А. С. Мачихин

Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук,
Москва, Россия

Рассмотрено применение многочастотной акустооптической (АО) фильтрации излучения в установке для внеосевой многоволновой цифровой голографии на основе интерферометра Маха-Цендера. Проведен теоретический и экспериментальный анализ факторов, в том числе определяемых геометрией АО взаимодействия, влияющих на качество многоволновых цифровых голограмм (МЦГ), при различном числе спектральных каналов (от 1 до 4). Показано, что при определенных параметрах схемы пространственное разрешение и другие характеристики восстановленных из МЦГ карт фазовой задержки или толщины сопоставимы с характеристиками в одноволновом (последовательном) режиме. Одновременная регистрация нескольких спектральных каналов в виде мультиплексированной цифровой голограммы может быть перспективна для изучения быстропротекающих процессов и подвижных объектов в широком спектральном диапазоне.

Ключевые слова: Многоволновая цифровая голография, Акустооптический перестраиваемый фильтр, Количественная фазовая микроскопия.

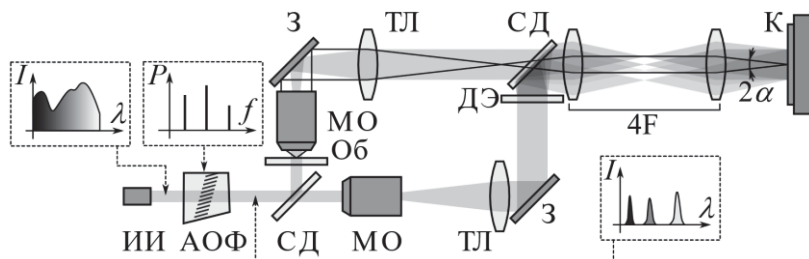
Цитирование: Польщикова, О. В. Многоволновая цифровая голография на основе мультимастотной акустооптической фильтрации излучения / О. В. Польщикова, А. В. Горевой, А. С. Мачихин // НОЛОЕХРО 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 397–400.

Введение

Многоволновая цифровая голография получила широкое применение в биомедицине и технике для решения различных задач [1]. Один из способов ее технической реализации основан на применении перестраиваемого акустооптического фильтра (АОФ) [2]. Перспективным является использование АОФ в многочастотном режиме фильтрации широкополосного излучения и одновременная регистрация нескольких интерференционных картин на разных длинах волн в виде мультиплексированной цифровой голограммы. Исследованию возможностей и ограничений такого метода посвящена данная работа.

1. Экспериментальная установка и теоретическое исследование

В исследовании использовалась установка для внеосевой многоволновой цифровой голографии (рис. 1), состоящая из широкополосного источника излучения ИИ, АОФ, выделяющего от одного до четырех узких спектральных интервалов, интерферометра Маха-Цендера, 4f-системы и видеокамеры К. Дополнительно в схему может быть введен спектральный элемент (призма или дифракционная решетка), вносящий в пучок угловую дисперсию, благодаря чему меняется зависимость положения ± 1 -х порядков в области пространственных частот (ОПЧ) от длины волны.



ИИ — источник излучения, АОФ — акустооптический фильтр, СД — светоделители, Об — объект, МО — микрообъективы, ТЛ — тубусные линзы, З — зеркала, ДЭ — дополнительный элемент с угловой дисперсией, $4F$ — $4f$ -система, К — камера, α — апертурный угол. На вставках показаны спектры излучения до и после АОФ, а также спектр мощности управляющего сигнала АОФ

Рис. 1. Схема установки для многоволновой цифровой голографии

В результате математического моделирования была установлена взаимосвязь параметров данной установки и АОФ. Произведена количественная оценка влияния геометрии акустооптического (АО) взаимодействия и числа спектральных каналов в многоволновой цифровой голограмме на качество восстанавливаемых из нее фазовых карт. Основными характеристиками качества являются размер линейного поля зрения, которое определяется видностью интерференционной картины, и пространственное разрешение, которое ограничено числовой апертурой микрообъектива и размером фильтра в ОПЧ при цифровой обработке. Их соотношение также зависит от когерентности излучения, угла между интерферирующими пучками и свойств элемента с угловой дисперсией при его наличии в схеме.

2. Результаты экспериментов

Для экспериментального подтверждения выводов теоретического исследования были выполнены измерения тест-объектов в виде вытравленных в слое фоторезиста штриховых мир и других картин и сравнение результатов с данными измерений на аттестованном оборудовании.

На рис. 2а показана зарегистрированная четырехволновая цифровая голограмма мира и ее увеличенный фрагмент, рис. 2б демонстрирует частотный спектр этой голограммы с областями фильтрации для четырех длин волн, а соответствующие им восстановленные фазовые карты представлены на рис. 2в.

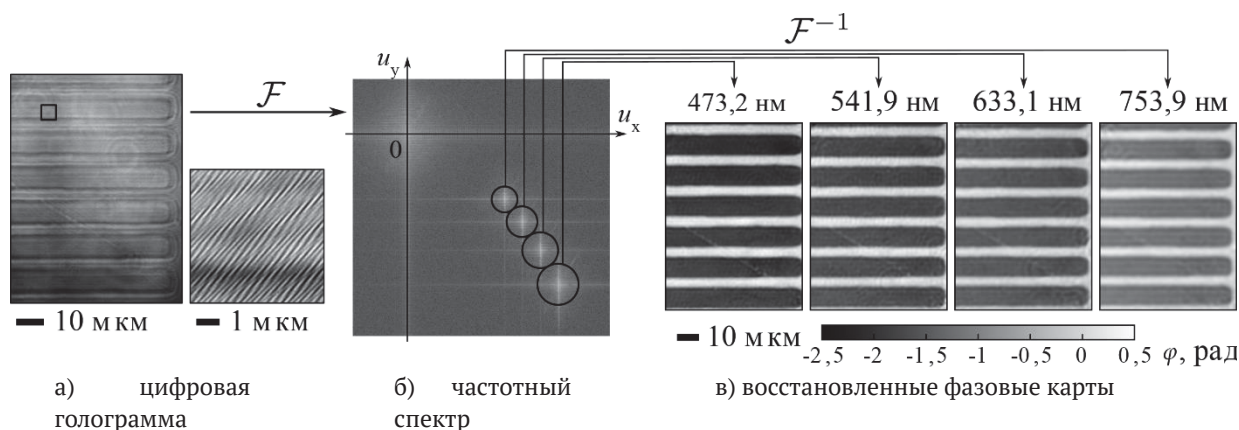


Рис. 2. Цифровая обработка четырехволновой голограммы

В результате экспериментов подтверждено, что в системах многоволновой цифровой голографии с использованием АОФ есть возможность изменения размера полезного поля зрения за счет оптимального выбора геометрии АО взаимодействия. Показано, что пространственное разрешение восстановленных фазовых карт падает по мере увеличения числа одновременно регистрируемых спектральных каналов и может быть увеличено в схеме с использованием дополнительного спектрального элемента.

Заключение

Использование АОФ в многоволновой цифровой голографии обеспечивает возможность задания числа, расположения и ширины спектральных каналов, благодаря чему можно адаптировать ОС под конкретные задачи и управлять характеристиками качества восстанавливаемых амплитудных и фазовых карт, добиваясь результата, сопоставимого с одноволновым (последовательным) режимом.

Благодарность

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-58-18007). Результаты работы получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН.

Список источников

- [1] **Turko, N. A.** Simultaneous three-wavelength unwrapping using external digital holographic multiplexing module / N. A. Turko, P. J. Eravuchira, I. Barnea, N. T. Shaked // *Optics Letters*. — 2018. — Vol. 43. — № 9. — P. 1943–1946.
- [2] **Polschikova, O.** Single-shot multiwavelength digital holography using Bragg diffraction of light by several ultrasound waves [Invited] / O. Polschikova, A. Machikhin, A. Gorevoy, E. Stoykova // *Journal of the Optical Society of America A*. — 2022. — Vol. 39. — № 2. — P. A79-A85.

Multi-wavelength digital holography based on multi-frequency acousto-optic filtration of light

O. V. Polschikova, A. V. Gorevoy, A. S. Machikhin

Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

The application of multi-frequency acousto-optic (AO) filtration of light in an off-axis multi-wavelength digital holography setup based on a Mach-Zehnder interferometer is considered. Theoretical and experimental analysis of factors, including those determined by the geometry of AO interaction, affecting the quality of multi-wavelength digital holograms (MDH) is carried out for a different number of spectral channels (from 1 to 4). It is shown that for certain parameters of the scheme, the spatial resolution and other characteristics of the phase delay or thickness maps reconstructed from the MDH are comparable with the characteristics in the single-wavelength (sequential) mode. Simultaneous registration of several spectral channels in the form of a multiplexed digital hologram can be promising for studying fast processes and moving objects in a wide spectral range.

Keywords: Multi-wavelength digital holography, Acousto-optic tunable filter, Quantitative phase imaging.