

61. Голографические датчики волнового фронта: сегодня и завтра

*В. Венедиктов^{1,2}, К. Гаврильева¹, А. Горелая¹, В. Орлов³, А. Севрюгин¹, И. Турсунов¹,
Е. Федоров¹*

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются и сравниваются различные возможные схемы голографических датчиков волнового фронта, основанные на использовании голограмм Фурье, включая прямую запись, компьютерные синтезированные и голограммы Фурье, записанные с использованием рассеянного излучения.

Ключевые слова: Голография, Активная или адаптивная оптика, Датчик волнового фронта.

Цитирование: **Венедиктов, В.** Голографические датчики волнового фронта: сегодня и завтра / В. Венедиктов, К. Гаврильева, А. Горелая, В. Орлов, А. Севрюгин, И. Турсунов, Е. Федоров // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 336–339.

Введение

Датчики волнового фронта (ДВФ) — это устройства, которые измеряют отклонение волнового фронта оптического излучения от плоскости или сферы. Сегодня они широко используются в адаптивной оптике (АО), астрономии, лазерной технике, офтальмологии и многих других областях. На сегодняшний день доступны только так называемые зональные ДВФ, прежде всего датчик Шака — Гартмана и, реже, другие типы, такие как датчик кривизны или пирамидальный. Зональный ДВФ сначала определяет локальные параметры волнового фронта, такие как локальный наклон или кривизна его сегмента, а затем, используя громоздкие вычисления, восстанавливает форму общего волнового фронта. Это сильно искажает производительность системы этого типа. В некоторых случаях, особенно для приложений с атмосферной оптикой, необходим ДВФ с частотой обновления данных 1 кГц или более. Использование оптимизированных алгоритмов обработки и высокопроизводительных вычислительных систем позволяет создавать системы АО, работающие на частоте несколько кГц. Однако в задачах, которые требуют высокоскоростных систем АО и / или не позволяют использовать большие и дорогие вычислительные системы, актуальным является использование модального ДВФ. Они дают информацию о волновом фронте в виде нескольких десятков чисел — амплитуд мод Цернике или мод адаптивных зеркал. Таким образом, сигнал от них может напрямую контролировать форму адаптивных зеркал без дополнительной обработки. Особенно актуально использование модального ДВФ в задачах, требующих оценки только первых нескольких мод Цернике,

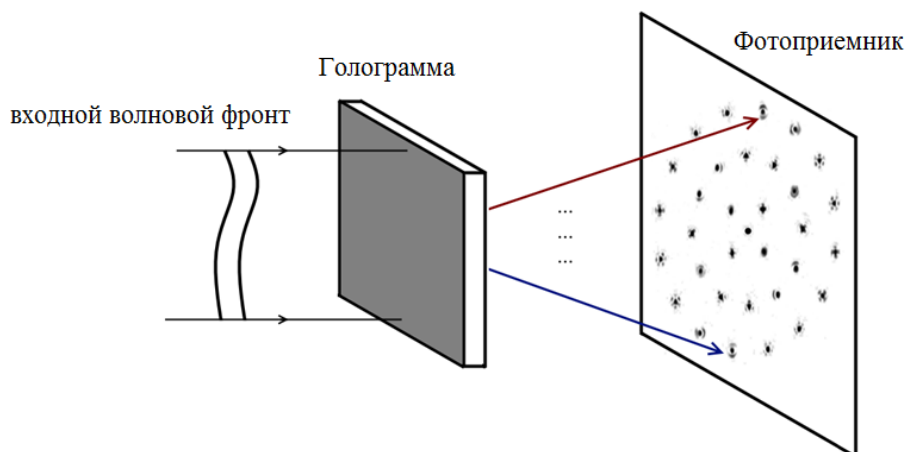


Рис. 1. Голографический ДВФ, основанный на использовании голографического мультиплекса

например, в офтальмологии. Единственная концепция модального ДВФ, известная на сегодняшний день, основана на голографии.

1. Традиционные схемы голографических датчиков волнового фронта

Первой публикацией, посвященной голографическому ДВФ, была работа Нила и др. [1]. Авторами предложено использовать голографическую фильтрацию входного волнового фронта, что позволило различать моды Цернике в виде системы пятен на плоскости фотоприемника. (рисунок 1). Амплитуды мод Цернике, присутствующих во входном волновом фронте, пропорциональны разности интенсивностей пар симметричных пятен. Для голографической фильтрации они предложили использовать либо несколько отдельных дифракционных элементов (голограмм) — каждый для фильтрации одной из мод Цернике, либо один мультиплексированный по времени или пространственно (мультиплексная голограмма) элемент.

Этот новый тип датчика называется голографическим ДВФ. Одна из голограмм записывается как интерференционная картина волны с фронтом, деформированная в соответствии с выбранным полиномом Цернике и сферической волной, сходящейся к некоторой точке А. Вторая голограмма соответствует интерференционной картине волны с инвертированным значением того же полинома Цернике и сферической волны, сходящейся к некоторой другой точке В. Фотодетекторы устанавливаются в точках А и В, а затем анализируемый волновой фронт восстанавливает дуплекс. В зависимости от амплитуды моды Цернике, сигнал от фотоприемника в точке А превышает сигнал в точке В или наоборот. Если эта мода Цернике отсутствует в волновом фронте, сигналы от обоих детекторов равны. Позднее эти исследования были продолжены несколькими научными группами, в частности коллективом Г. Андерсена [2]. Однако использование голографического мультиплекса приводит к сильному и неизбежному перекрестному (интермодальному) шуму, препятствуя реальному использованию этой интересной концепции.

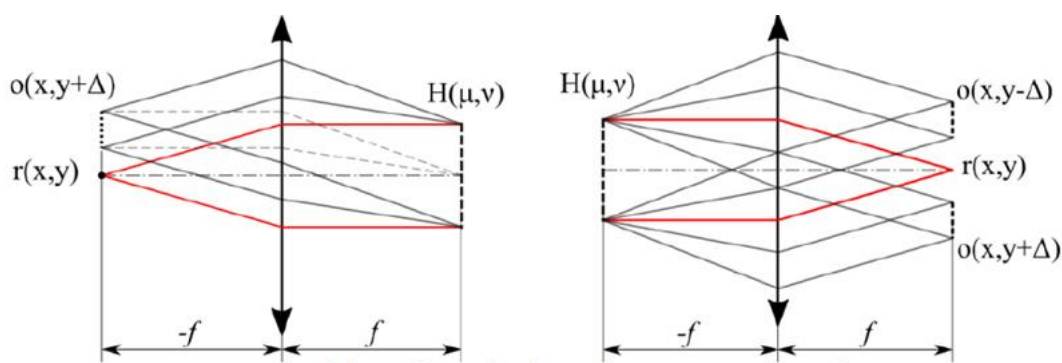


Рис. 2. Синтез и реконструкция Фурье-голограммы для ДВФ

2. Фурье-голография в WFS

Недавно было предложено использовать голограммы Фурье в ДВФ [3, 4]. Такие голограммы регистрируют распределение интенсивности от двух волн-опорной $R(x, y)$ и объектной $O(x, y)$ волн. Синтез и реконструкция Фурье-голограммы приведены на рисунке 2. В этом случае опорная волна представляет собой aberrированный волновой фронт, объектная волна — это поле от точки индикатора. Таким образом, если значение aberrации в падающей волне и голограммы, генерированной на компьютере, совпадают, мы получим небольшую точку индикатора. В противном случае точка будет размыта. Можно либо зарегистрировать голограмму посредством записи интерференционной картины, либо использовать сгенерированные компьютером голограммы.

Альтернативный подход [5, 6] реализует аналогичную схему, но в этом случае искаженный волновой фронт диффузно рассеивается фазовой пластиной, которая используется в качестве кодера. Использование такой же диффузной пластины на этапе реконструкции обеспечивает декодирование информации. Основная идея заключается в том, что можно создать матрицу неперекрывающихся (и, следовательно, свободных от перекрестного шума) голограмм Фурье. Можно осветить все эти голограммы одновременно диффузным рассеянным анализируемым волновым фронтом, и каждая голограмма извлечет из него информацию об амплитуде определенного полинома Цернике.

В докладе обсуждаются все варианты такого использования Фурье-голографии, их достоинства и недостатки, а также будущие перспективы применения техники.

Благодарность

Авторы благодарны Министерству науки и образования Российской Федерации за финансирование в рамках Проекта № 8.1039.2017.

Список источников

- [1] Neil, M. A. A. New modal wave-front sensor: a theoretical analysis / M. A. A. Neil, M. J. Booth and T. Wilson // J. Opt. Soc. Am. — 2000. — A17 (6). — P. 1098–1107.
- [2] Andersen, G. Fast, compact, autonomous holographic adaptive optics / G. Andersen, P. Gelsinger-Austin, R. Gaddipati, P. Gaddipati, F. Ghebremichael // Optics Express. — 2014. — Vol. 22. — № 8. — P. 9432–9441.

- [3] **Krasin, G. K.** Wavefront sensor with hologram filters in the problem of measuring phase distortions of laser radiation / G. K. Krasin, D. S. Lushnikov, S. B. Odinson, A. B. Solomashenko, V. Yu. Venediktov, E. Yu. Zlokazov // Proc. of SPIE. — 2018. — Vol. 10787. — P. 07870D.
- [4] **Kovalev, M. S.** Optical wavefields measurement by digital holography methods / M. S. Kovalev, G. K. Krasin, S. B. Odinson, A. Y. Zherdev // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — Vol. 1096. — № 1.
- [5] **Орлов, В. В.** Голографический модовый датчик волнового фронта с увеличенным числом измеряемых мод / В. В. Орлов // Квантовая электроника. — 2017. — Vol. 47. — № 8. — P. 773–776.
- [6] **Gorelaya, A.** Holographic wavefront sensor, based on diffuse Fourier holography / A. Gorelaya, V. Orlov, V. Venediktov // Proc. of SPIE. — 2018. — Vol. 10425. — P. 104250K.